

ATOMKI

KÖZLEMÉNYEK

12. kötet

1-2 szám

M E L L É K L E T

MTA
ATOMMAG KUTATÓ INTÉZETE
DEBRECEN

1970. június

SZALAY SÁNDOR

A FIZIKAI KISÉRLETEZÉS
TECHNIKAI ALAPJAI

Berecz István, Medveczky László, Sebestyén Béla és Szabó József
közreműködésével

II. Rész

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

TARTALOMJEGYZÉK

A VÁKUUMTECHNIKA FELADATA ÉS FŐBB FOGALMAI	48
A vákuumtechnikai alapfogalmak	48
VÁKUUMSZIVATTYUK	52
Forgó szivattyuk	53
Roots szivattyuk	54
Molekuláris szivattyuk	55
Sugárszivattyuk	55
Gőzsugár /booster/ szivattyuk	56
Diffúziós szivattyuk	57
Ion-getter szivattyuk	59
Kryoszivattyuk	60
VÁKUUM MÉRŐK	62
Mechanikus vákuum mérők	62
Kompressziós manométerek (McLeod)	63
Hővezetési elven működő vákuum mérők	65
Piráni vákuum mérők	65
Termoelektromos vákuum mérők	65
Ionizációs vákuum mérők	66
Penning típusu vákuum mérők	67
LYUKKERESÉS	68
Tulnyomásos lyukkeresés	69
Alacsony nyomáson történő lyukkeresés	69
VÁKUUMTECHNIKAI SZERELVÉNYEK	70
Vákuumszelepek	70
Vákuumcsapdák, kifagyasztók	73
Vákuum szerelvények csatlakozási problémái	76
VÁKUUMTECHNIKÁBAN HASZNÁLTATOS ANYAGOK	81
Fémek	81
Üvegek	83
Fém-üveg kötések	84
Tömítő anyagok	86
Vákuum felületek tisztítása	88
VÉKONY RÉTEGEK, FILMEK KÉSZÍTÉSE VÁKUUMPÁROLOGTATÁSSAL	89
A vákuumrendszer ismertetése	89
A vákuumpárologtatás technikája	90
A párologtatás fázisai	93

VÁKUUMTECHNIKA

A vákuumtechnika feladata és főbb fogalmai

A vákuumfizika megalapozói, Gaede és Langmuir egy olyan technikai tudomány fejlődésének nyitottak utat, mely manapság mind a modern iparban, mind a tudomány területén nélkülözhetetlen. Hatalmas üzemek, kutató laboratóriumok foglalkoznak vákuumtechnikai berendezések gyártásával és fejlesztésével. Ezek egyre újabb lehetőségeket nyitnak mind a gyártás-technológiai, mind a tudományos kutatás számára. A tudományos kutatásban – érthető módon – különösen nagy szerephez jutott a vákuumtechnika a fizika területén. Ennek bizonyítására elegendő, ha csupán azt említjük meg, hogy a kísérleti magfizika fejlődése szoros kapcsolatban van a vákuumfizika fejlődésével, hiszen a különféle részecskegyorsítók működése lehetetlen megfelelő vákuumtechnikai berendezések nélkül.

Az ipar területén nemcsak a legrégebbi – de ma is jelentős – elektroncső-gyártásánál, hanem a félvezetők előállításánál is nagy szerepe van a vákuumfizikának, s ez a szerep egyre jelentősebbé válik a modern ipar sok más területén is.

Ezen egészen rövid áttekintés alapján is nyilvánvaló, hogy egy leendő fizikusnak feltétlenül meg kell ismerkedni a vákuumtechnika legalapvetőbb fogalmaival, eredményeivel, eszközeivel, valamint ezek alkalmazásával kapcsolatban felmerülő problémákkal.

Vákuumtechnikai alapfogalmak

Ismert tény, hogy a földünket körülvevő légkörben a magasság növekedésével csökken a nyomás; így pl. kb. 500 km magasságban 10^{-8} Hgmm, kb. 1000 km magasságban 10^{-11} Hgmm rendű a nyomás. Általában a vákuummal, mint fogalommal azt a körülményt fejezzük ki, hogy valamely térben a nyomás kisebb, mint az atmoszféra nyomás. A vákuum nagyságát (mértékét) az illető térben lévő maradék gáz nyomásával szokás kifejezni és a gyakorlatban előállítható vákuumtartományt 4 részre szokás felosztani (III. táblázat).

III. Táblázat

Elnevezés	Durva vákuum	Finom v. elővákuum	Nagy vákuum	Ultra nagy vákuum
p (Hgmm)	760 - 1	1 - 10^{-3}	10^{-3} - 10^{-7}	10^{-7} - 10^{-14}
Az 1 cm ³ -ben lévő gázmolekulák száma	10^{19} - 10^{16}	10^{16} - 10^{13}	10^{13} - 10^9	10^9 - 10^2

Érdekes az a tény, hogy a tér 1 cm³-ében lévő gázmolekulák száma még igen nagy vákuum esetén is jelentős. A bolygóközi térben űrszondákkal végzett mérések szerint kb. 10, néha ennél is kevesebb részecskét találtak a tér 1 cm³-ében, ami megfelel 10^{-15} - 10^{-18} Hgmm nyomásnak.

A vákuumtechnikában a nyomás legfontosabb és leggyakrabban használt egysége a Hgmm. Ma már egyre gyakrabban a Hgmm helyett Torr-t használnak. A két egység közti átszámítás igen egyszerű, hiszen

$$1 \text{ Hgmm} = 1 \text{ Torr}$$

Használatos egységek még:

$$1 \text{ Atm.} = 760 \text{ Hgmm (fizikai egység);}$$

$$1 \mu\text{Hg} = 10^{-3} \text{ Hgmm.}$$

A vákuumtechnika legalapvetőbb feladata tehát magának a vákuumnak előállítása, illetve fenntartása. Ezt különböző szivattyukkal, illetve szivattyúrendszerekkel lehet elérni attól függően, hogy milyen nagyságú vákuumra van szükség. Ahhoz, hogy a vákuumberendezések legfontosabb adatait meg tudjuk határozni, illetve hogy a célnak éppen megfelelő berendezést összeállíthassuk, a következő alapfogalmakkal kell megismerkedni:

Szivósebesség (S) a szivattyú által az időegység alatt elszállított gáztérfogat egy meghatározott p nyomáson. Mértékegysége: liter/s, illetve m³/óra. (Előbbit 1 μ nyomáson, utóbbit 1 atm. nyomású gázra értik.)

Szivóteljesítmény (Q) a szivattyú által időegység alatt eltávolított gázmenyiség egy meghatározott p szívónyomáson. Egységei: μ ·l/s, Torr·l/s, atm·m³/óra. A szivósebesség és a szivóteljesítmény között a következő összefüggés áll fenn:

$$Q = p S$$

Beömlés a vákuumedénybe - a valódi lyukon - időegység alatt beáramló gázmeny-nyiség. Egységei ugyanazok, mint a szivóteljesítményé.

Végvákuum az a legalacsonyabb nyomás, melyet egy szivattyúval (vagy szivattyúrendszerrel) a legkedvezőbb körülmények mellett el lehet érni.

Elővákuum az a minimális nyomás, mely bizonyos szivattyútípusok működéséhez elengedhetetlenül szükséges; u.i. ezek a szivattyúk nem képesek a leszívott gázt az atmoszférába közvetlenül kikomprimálni.

Közepes szabad uthossz (λ). Egy gáztérben lévő gázmolekulák állandó u.n. hőmozgást végeznek, miközben egymással és az edény falával ütközéseket végeznek. Az egyik ütközéstől a másik ütközésig megtett egyenes utszakaszt szabad uthossznak, ezek középértékét pedig közepes szabad uthossznak nevezzük. Nyilvánvalóan minél kisebb a gáznyomás az adott térben, azaz minél kisebb a gázkoncentráció, a közepes szabad uthossz annál nagyobb. Természetesen a közepes szabad uthossz nagysága függ a gáz minőségétől és hőmérsékletétől is. Néhány gázfajtára a - hőmozgásból eredő - közepes sebességet a IV. táblázat adja:

IV. Táblázat

Gáz fajta	Mol. súly	közepes sebesség (m/s)	
		0°C	20°C
H ₂	2	1838	1904
N ₂	28	493	511
O ₂	32	461	478

A közepes szabad uthossz kiszámítására igen jól használható formula a

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}pd^2\pi} \quad /9/$$

ahol k a Boltzmann-állandó, p a nyomás, d a molekulaátmérő. Olyan esetekben, amikor nagy pontosságra nincs szükség, a közepes szabad uthosszat levegőre a

$$\lambda_{\text{lev.}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{p_{\text{Torr}}} \text{ (cm)} \quad /10/$$

formulával számíthatjuk ki.

Gázáramlás. Miközben valamely edényből gázt szivattyuzunk el, a vákuumrendszer leszívó csővezetékeiben - de magában a szivattyuban is - valamilyen formában gázáramlást hozunk létre. A jelenség jól modellezhető az elektromos áramlással; ott az elektromos tölté-

seknek a magasabb potenciálu helyről az alacsonyabb potenciálu hely felé áramlásáról, itt a gáz-molekuláknak a nagyobb nyomású térből a szivattyú által létesített kisebb nyomású tér felé való áramlásáról van szó. A vákuumtechnikában nagyon fontos a gázáramlás mechanizmusának megállapítása, mert az lényegesen befolyásolja az áramlás nagyságát és minőségét. Ha az illető gáz közepes szabad uthossza (λ) kisebb, mint a gáz áramlására szolgáló csővezeték átmérője (D), viszkózus áramlásról beszélünk. Ha a gáz közepes szabad uthossza nagyobb, mint a csővezeték átmérője ($\lambda > D$), molekuláris áramlásról beszélünk. Ez utóbbi esetben a hőmozgásban lévő gázmolekulák egymással gyakorlatilag alig, főleg a csővezeték falával ütköznek. Mivel a csővezeték fala - mikroszkópiusan - nem tekinthető simának, a gázmolekuláknak a falon való ütközése nem szabályos. Más szavakkal ilyen áramlásban a viszkózus áramlásra jellemző - az alacsonyabb nyomású tér felé irányuló - elragadó erőnek semmilyen szerepe nincs. Hogyan történik mégis ekkor áramlás? A magyarázat az, hogy a nagyobb nyomású helyről több molekula "áramlik" a kisebb nyomású hely felé, mint fordítva, s a kettő különbsége egy, a kisebb nyomású hely felé irányuló "gázáramot" eredményez.

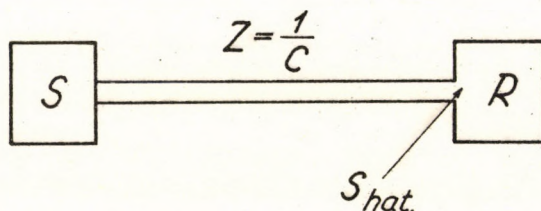
Csővezeték vezetőképessége (C). Egy csővezeték vezetőképességén az időegység alatt egységnyi nyomáskülönbség hatására rajta átáramlott gáztérfogatot értjük. A vezetőképesség meghatározásánál figyelembe kell venni az adott cső geometriai méreteit, a gázáramlás mechanizmusát és a gáz minőségét.

Csővezeték ellenállása (Z). Valamely csővezeték ellenállását - az elektrotechnikában használt meghatározáshoz hasonlóan - a

$$C = \frac{1}{Z}$$

összefüggés szerint definiáljuk. Így, mivel a C dimenziója a gyakorlatban l/s , $m^3/\text{óra}$, stb. (vagyis azonos a szivósebesség dimenziójával), a Z jellege: s/l , $\text{óra}/m^3$, stb.

Hatásos szivósebesség. Lényegében minden vákuumrendszer egy S szivósebességű szivattyúból (vagy szivattyurendszerből), egy Z ellenállású (azaz C vezetőképességű) csővezetékéből (vagy csővezeték rendszerből) és a leszívandó térből (R) áll (46. ábra).



46. ábra. Vákuumrendszer elvi felépítése. S. szivattyurendszer;
R. leszívandó tér (recipiens)

A szívósebességet már definiáltuk, de még arra a gyakorlatban nagyon fontos kérdésre, hogy mekkora a leszívandó tér szívó nyílásán ténylegesen megjelenő szívósebesség, még nem adtunk választ. Ezt az u.n. hatásos szívósebességet ($S_{\text{hat.}}$) az

$$\frac{1}{S_{\text{hat.}}} = \frac{1}{S} + \frac{1}{C} \quad /11/$$

összefüggés definiálja.

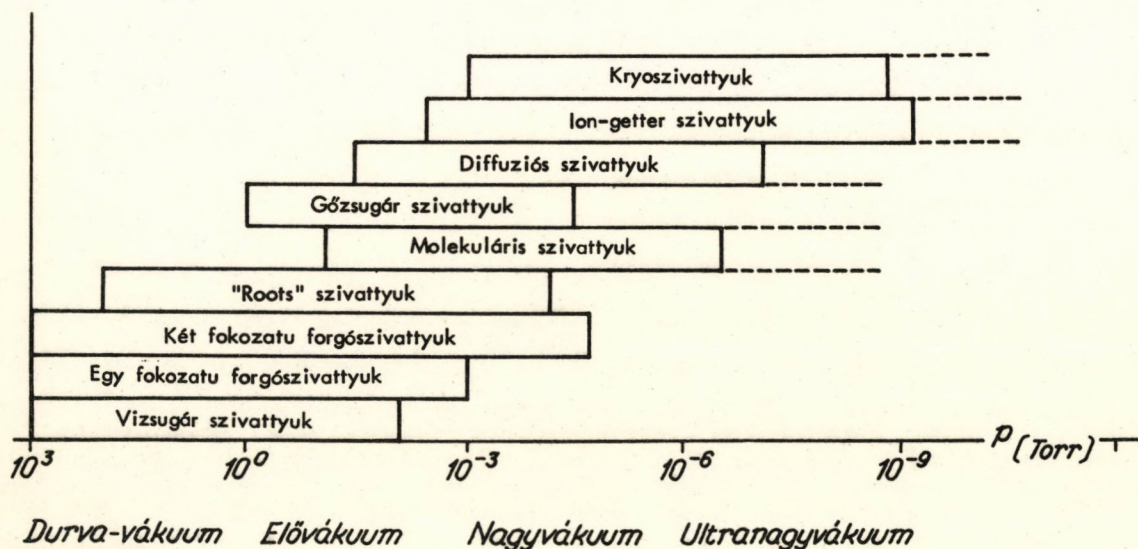
A fenti összefüggésből igen fontos megállapítások vonhatók le a szivattyú szívósebességére, a csővezeték méreteire vonatkozóan, melyek nélkül a legegyszerűbb vákuumrendszert sem lehet jól megtervezni.

A fentiekben röviden és átfogóan ismertettük a vákuumtechnika legalapvetőbb problémáit, fogalmain, a gyakorlatban leggyakrabban használt egységeit. Itt nem volt lehetőség ezek részletes ismertetésére, csupán azt akartuk megmutatni, hogy milyen kérdésekkel kell számolni egy-egy vákuumtechnikai feladat elvi megoldásánál.

Vákuumszivattyúk

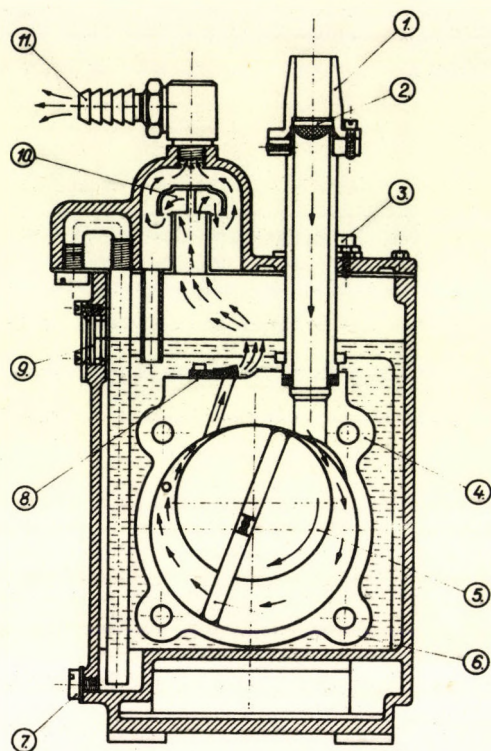
Miután megismerkedtünk a vákuumtechnika legalapvetőbb fogalmaival, vizsgáljuk meg, milyen berendezésekkel lehet vákuumot előállítani, illetve azt fenntartani. A felsorolás, illetve a részletes tárgyalás nem lesz teljes, csupán a legfontosabb, a gyakorlatban leginkább használt vákuumszivattyúkról lesz szó. A tárgyalás során rámutatunk, hogy az egyes szivattyú típusokat mikor célszerű alkalmazni. Az V. táblázatban tüntettük fel az egyes vákuumtartományokban legcélszerűbben alkalmazható vákuumszivattyú típusokat.

V. Táblázat

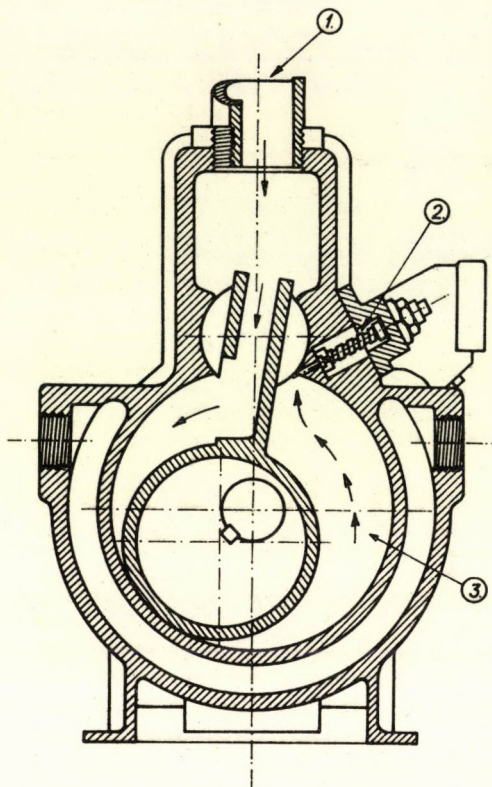


Forgó (rotációs) szivattyúk

A forgószivattyúk közül lényegében kétféle típus terjedt el leginkább: a Gaede-féle forgólapátos (47. ábra) és a Kinney-féle forgóhengeres szivattyú (48. ábra).

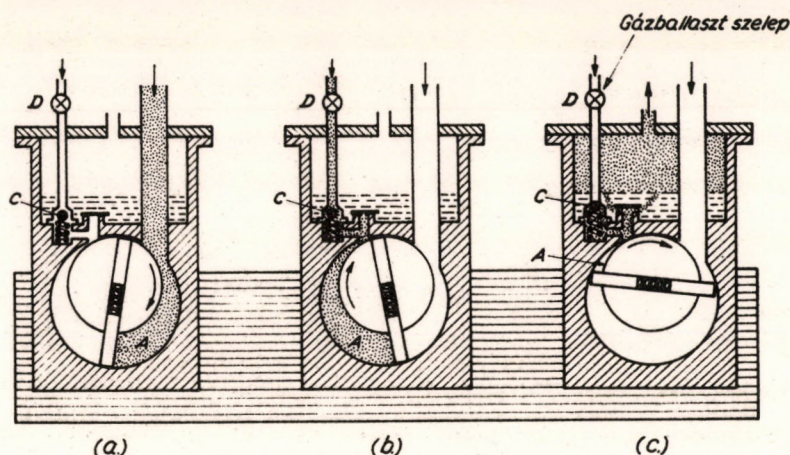


47. ábra. Gaede típusú forgólapátos szivattyú. 1. vákuum csatlakozó; 2. szűrő; 3. olajtöltő zárócsavar; 4. álló rész; 5. forgó rész; 6. lapát; 7. olajleeresztő csavar; 8. kipufogó szelep; 9. olajszint ellenőrző ablak; 10. olaj terelő csapda; 11. kipufogó csővezeték.



48. ábra. Kinney-típusú forgóhengeres szivattyú. 1. vákuum csatlakozó; 2. kipufogó szelep; 3. gázáram útja.

Lényegében mindkét szivattyútípus az egyszerű dugattyús szivattyúhoz hasonlóan működik, csak a forgó mechanizmus egy sokkal folyamatosabb szivást tesz lehetővé. A forgómechanizmus mindkét szivattyútípusnál megfelelő minőségű olajba merül be. Ez az olaj nemcsak keni a surlódó részeket és biztosítja az egyes részek közti tömitést, de kitölti a szivattyú holt terének egy részét is. Ezen szivattyúk működési tartománya – mint az az V. táblázatból is látható – $760 - 10^{-4}$ Torr nyomás között van, s ezért ezeket elsősorban elővákuumszivattyúként alkalmazzák, vagy olyan esetekben, amikor $760 - 10^{-4}$ Torr nyomást kell biztosítani valamely rendszerben. Ma már – szinte kivétel nélkül – a fent említett rotációs szivattyúkat u.n. gázballaszt szeleppel is ellátják, melynek akkor van nagy jelentősége, ha könnyen kondenzálódó gőzökkel szennyezett teret kell huzamosabban leszívni (49. ábra). Ilyenkor ugyanis a kis parciális nyomású gőzök a térfogat csökkentésekor (azaz a nyomás növekedtekor) folyadékcseppek alakjában lecsapódnak és nem távoznak el az atmoszférába.



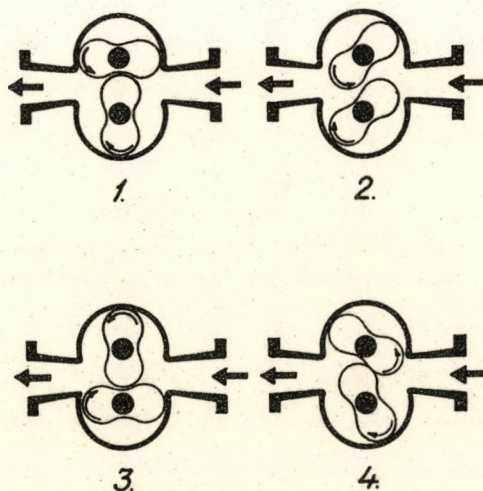
49. ábra. Gázballaszt szeleppel ellátott rotációs szivattyú főbb munkafázisai.
A. az álló és forgó rész közötti tér; B. kipufogó szelep; C. kipufogó szelep; D. gázballaszt szelep.

A gázballaszt szerepe abban áll, hogy a szivattyuban a komprimálás előtt (49. b. ábra) a kipufogószelepen keresztül egy adag száraz levegőt engednek be. Ez azonnal megemeli a kipufogószelepet, tehát nem kell a leszívott gázt összekomprimálni erre a célra; a jelenlévő gőz így nem kondenzál le, mivel nem éri el a telítési gőznyomást.

A rotációs szivattyúk két fokozatban is készülnek és amennyiben megfelelő gőznyomású olajat használunk működtetésükhöz, 10^{-3} Torr-nál jobb vákuum előállítására is alkalmazhatók. Az egy fokozatu rotációs szivattyúk szívósebessége néhány $\text{m}^3/\text{óra}$ -tól néhány $100 \text{ m}^3/\text{óra}$ -ig változik.

"Roots" szivattyúk

A roots szivattyú - mint gázok és gőzök szállítóeszköze - évtizedek óta használatos a technikában, de mint a vákuumelőállítás eszköze, csak az utóbbi években jelent meg. Elsősorban az elővákuum tartományban alkalmazható igen jó hatásfokkal, ha nagy gázmennyiségek leszívását kell megoldani. Egy ilyen típusu szivattyú látható az 50. ábrán.

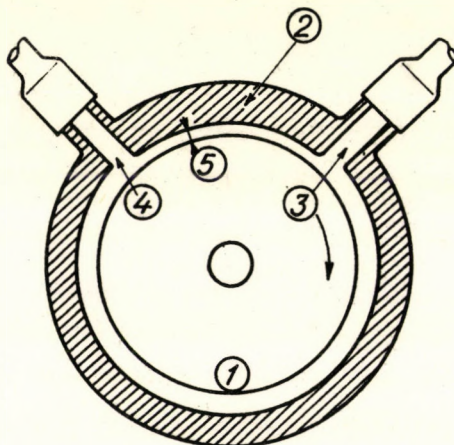


50. ábra. Roots-típusu szivattyú főbb munkafázisai.

Két piskóta alakú lapát kb. 2 – 3000 ford/perc fordulatszámmal forog egymással szemben, miközben az egyik nyílástól a másik felé szállítják a gázt. A roots szivattyukban nincs olaj és így nagy nyomáskülönbség az ilyen típusú szivattyúkkal nem érhető el, (elővákuum szivattyút igényelnek) szívósebességük azonban igen nagy, több $10.000 \text{ m}^3/\text{óra}$ -t is elérheti elővákuum tartományban.

Molekuláris szivattyúk

Míg az eddig ismertetett rotációs szivattyúk működése a Boyle–Mariotte gáztörvényen alapul, az u.n. molekuláris szivattyú a gázok molekulár-kinetikai folyamatát hasznosítja. Egy henger $1/3$ –4000 ford/perc fordulatszámmal forog, s ha megfelelő elővákuumot biztosítunk (a molekuláris áramláshoz ez szükséges), a nagy sebességgel forgó hengernek ütközött gázmolekulák bizonyos impulzust nyernek a forgás irányába. A gázmolekulák visszaszívargása az $1/5$ -tel jelzett távolság megfelelő csökkentésével minimalizálható, melynek értéke 0,02 – 0,05 mm között változik (51. ábra).

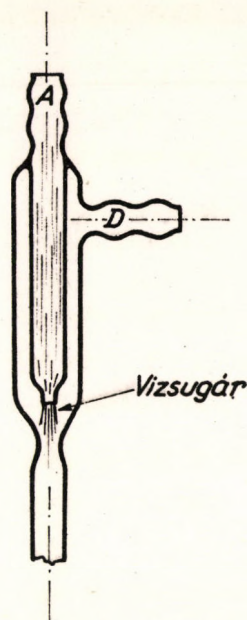


51. ábra. Molekuláris szivattyú. 1. forgó henger; 2. szivattyúház; 3. csatlakozó a recipienshez; 4. elővákuum csatlakozó; 5. forgó henger és szivattyúház közötti távolság.

Az elővákuum szükséglete 0,1 Torr és az elérhető végvákuum 10^{-6} Torr rendű is lehet. Szívósebessége igen kicsi, néhány $1/\text{s}$. Mivel igen precíz kivitelű igényel, nem nagyon terjedt el; szívesen alkalmazzák olyan esetekben, amikor kis teret kell olajgőzmentesen leszívni.

Sugárszivattyúk

Ha folyadékot vagy gázt nagy nyomású térből egy megfelelő alakú fuvókán keresztül egy kisebb nyomású térbe expandáltatnak, akkor egy nagysebességű folyadék vagy gőzsugár nyerhető a fuvóka végénél. Ez a nagysebességű sugár magával "ragadja" a körülötte lévő gázmolekulákat (Bernoulli-törvény) és vagy az atmoszférába, vagy egy elővákuumszivattyúval szívott térbe szállítja azokat. A vízlégszivattyú ennek a típusnak egy igen egyszerű formája (52. ábra).

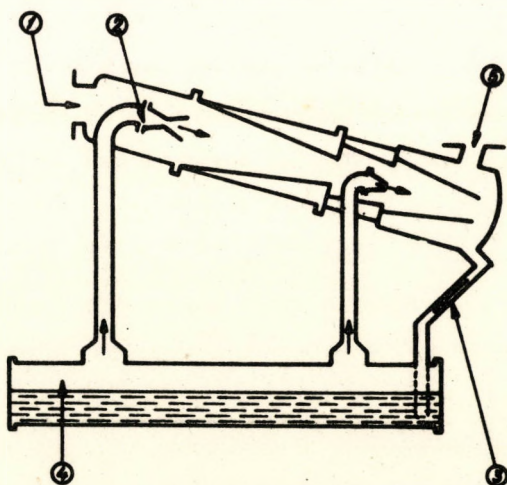


52. ábra. Vízlégszivattyú. A. nagy sebességgel áramló vízszugár;
D. csatlakozó a leszívandó térhez.

A függőlegesen elhelyezett A csövön nagy sebességgel áramló víz a D csővel összeköttetett térből gázmolekulákat ragad magával; az ilyen módon előállított nyomás 10 - 20 Torr. Főleg kémiai műveleteknél (pl. vákuumszűrés) alkalmazzák.

Gőzszugár (booster) szivattyúk

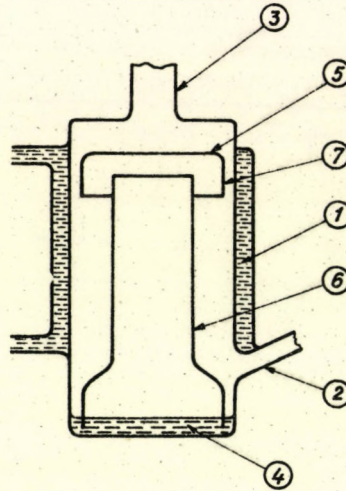
Működésük az előbbi szivattyúkhoz hasonló, de ezekben olajat vagy higanyt forralnak és ennek gőze expandál a fuvókán keresztül. Az elérhető nyomás 10^{-2} - 10^{-3} Torr. Működtetésükhöz természetesen elővákuum szivattyút kell használni. Szokásos nagy diffúziós szivattyúk elővákuumának biztosítására is használni. Egy kétfokozatu booster szivattyú látható az 53. ábrán.



53. ábra. Két fokozatu booster szivattyú. 1. nagyvákuum csatlakozó; 2. gőzfúvóka;
3. visszafolyó; 4. olaj (higany) forraló; 5. elővákuum csatlakozó.

Diffúziós szivattyúk

A diffúziós szivattyúk mai formája tulajdonképpen a Langmuir-féle szivattyúból alakult ki (54. ábra), melyben először alkalmaztak környezeti fuvókat. Itt is, mint a gőzsugárszi-



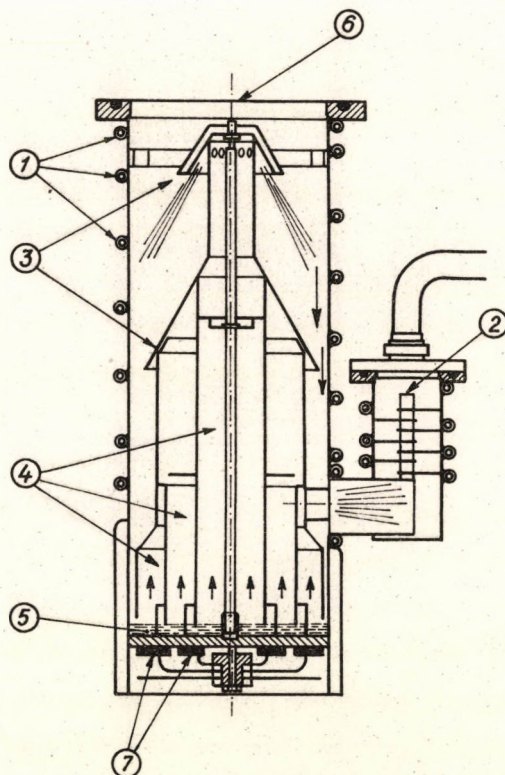
54. ábra. A Langmuir-féle diffúziós szivattyú. 1. hűtővíz; 2. elővákuum csatlakozó; 3. szívó csatlakozó; 4. higany; 5. fúvóka (gőzsugár terelő sapka); 6. gőzvezető; 7. a leszívott gáz belépése a higany gőzsugárba.

vattyúkban, valamilyen folyadék forralásával keletkezett nagynyomású gőz áramlik ki a fuvókából és kondenzálódik a hűtött falon. A lekondenzálódott folyadék visszafolyik a szivattyuház alján, majd elgőzölöggtetve ismét részt vesz a szívási folyamatban. A diffúziós szivattyúkban azonban a nyomásviszonyok olyanok, hogy a kiáramló gőz a fuvóka szélétől a kondenzáló falig egy zárt, u.n. olajgőz (ha olajat használunk) függőnyt alkot. A lefelé irányuló gőzfüggöny a felülről belediffundáló gázmolekulákat magával viszi a függöny alatti térbe. Mivel a visszafelé való diffundálás valószínűsége jóval kisebb, szívóhatás lép fel, maximum 1 : 100 kompresszió arányban. Az olajdiffúziós szivattyú ilyen formájú működéséhez természetesen megfelelő elővákuum szivattyú alkalmazása szükséges. Az elővákuum mértékét a fuvóka és a hűtött fal távolsága szabja meg. Annak kell teljesülnie, hogy a közepes szabad uthossz nagyobb legyen, mint az előbb említett távolság. Hogy minél jobb végvákuum és szívósebesség értéket lehessen elérni, 2, 3 vagy 4 ilyen fokozatot kapcsolnak egymásután. A legutolsó fokozatnak rendszerint valamilyen forgószivattyú biztosítja az elővákuumot, a többinek mindig az őt megelőző fokozat.

Az olajdiffúziós szivattyúkhöz olyan forgó szivattyú szükséges, mely legalább 10^{-1} Torr nyomást tud biztosítani. Higanydiffúziós szivattyúhoz néhány Torr is elegendő. Az elővákuum (különösen olajdiffúziós szivattyúknál) azért is szükséges, mert a kb. 200°C -ra felmelegített folyadék (olaj) atmoszféra nyomáson rövid idő alatt elégne. Diffúziós szivattyúkkal 10^{-3} – 10^{-9} Torr nyomás érhető el. Szívósebességük néhány l/s-tól több 10.000 l/s-ig változik. A diffúziós szivattyúkban valamilyen folyadék halmazállapotú anyagot (higany, olaj) használunk, ezért elkerülhetetlen, hogy a folyadék gőze be ne jusson a leszívandó térbe. Mivel a maximá-

lis vákuumot az alkalmazott folyadék telített gőznyomása határozza meg, érthető, hogy miért szorította ki sok esetben a higanydiffúziós szivattyukat az olajdiffúziós típus. A higany telített gőznyomása szobahőmérsékleten ugyanis $2 \cdot 10^{-3}$ Torr, azaz ennél jobb vákuum ilyen szivattyukkal nem érhető el kifagyasztó alkalmazása nélkül. Az olajok telített gőznyomása szobahőmérsékleten $10^{-6} - 10^{-9}$ Torr között változik, sőt egyes cégek 10^{-10} Torr gőznyomású olajokat is készítenek.

Az olajdiffúziós szivattyukkal nemcsak nagyobb vákuum érhető el, hanem a nagy olaj - vagy szerves - molekulák miatt a szívósebesség is nagyobb, mint higanydiffúziós szivattyuk esetén. Kifagyasztókat olajdiffúziós szivattyuk esetén is alkalmaznak; ilyenkor u.i. jobb hatásfokkal dolgozik a szivattyu, és ilyen módszerrel ultravákuum előállítása is lehetséges. Ma már - szinte kivétel nélkül - az olajdiffúziós szivattyukat frakcionált kivitelben készítik (55. ábra), ami azt eredményezi, hogy a leszívandó térhez legközelebb eső fokozat az olaj legjobb, azaz legnehezebb frakciójával üzemel.



55. ábra. Frakcionáló olajdiffúziós szivattyu. 1. hűtővíz; 2. elővákuum csatlakozó; 3. fuvókák; 4. gőzvezetők; 5. olajforraló; 6. szívócsatlakozó; 7. fűtőtest.

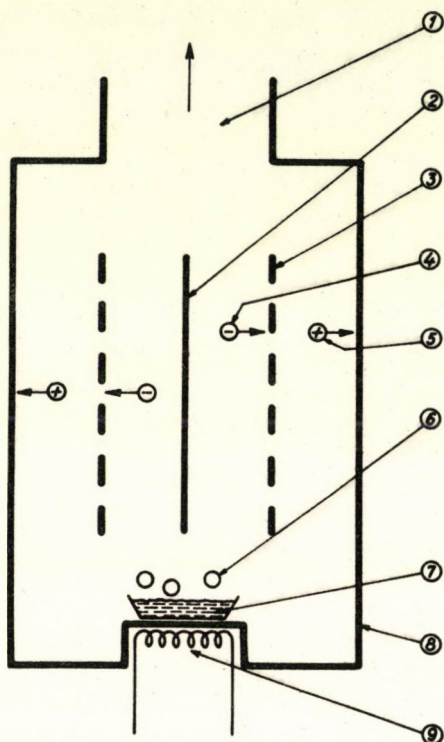
Az olajdiffúziós szivattyukat ma a legelterjedtebben használják nagyvákuum előállítására. A mai modern olajdiffúziós szivattyuk hátránya, hogy a leszívandó térbe bejutó olajgőz meg nem engedhető szennyeződést okoz, jóllehet ezirányban sok javítás történt, különösen az utóbbi időben.

Ion-getter szivattyuk

Ha a leszívandó térben gőzmentes (olaj, higany) nagyvákuumot, ultravákuumot akarunk előállítani, illetve fenntartani, az erre legalkalmasabb eszközök az iongetter szivattyuk. Ezen szivattyuk lényegében két effektust használnak a gáz elszívására:

- 1./ Gázok szorpcióját egy frissen párologtatott fémfelületen (getterezés)
- 2./ Az elektromos kisülés gázfogyasztó tulajdonsága (ion szivattyuzás).

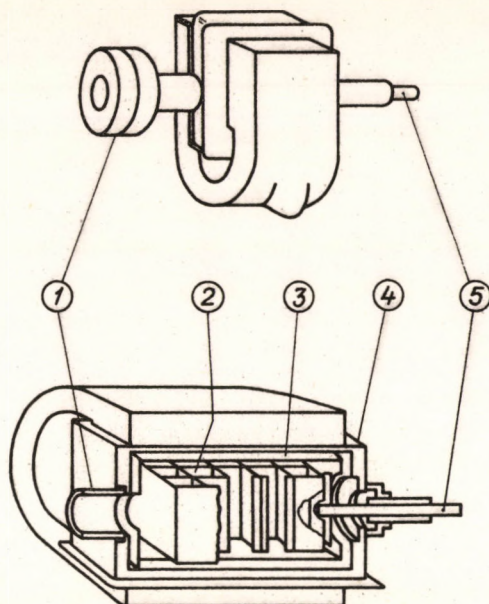
Az 56. ábrán látható egy ion-getter-szivattyu elvi sémája. A szivattyuház alján getter-anyagot - általában titánt - párologtatnak el, mely a ház falán folyamatosan egy getter fe-



56. ábra. Ion-getter szivattyu elvi felépítése. 1. szívócsatlakozó; 2. katód; 3. anód; 4. elektronok; 5. ionok; 6. gettergőz; 7. getteranyag; 8. szivattyuház; 9. fűtőtest.

ületet képez. Ez a getter-tükör elsősorban az aktív gázokat nyeli el; a nemesgázok csak getterezéssel nem köthetők le. A szivattyuban azonban egy ionizáló tér is van, s az ionizált nemesgáz molekulák - ha nem is stabilan - már megkötődnek a getter felületen, amit aztán a folyamatosan lecsapódó getterrészecskék végleg eltemetnek. Mivel a szivattyuzó hatás csak addig tart, amíg a getteranyag párolog, biztosítani kell a getterfém állandó pótlását. Ez már bonyolultabb feladat, hiszen azt a vákuumtérben kell megoldani. Az ion-getter szivattyuknál jó hatásokkal működő ionizáló teret kell létesíteni, mert az ilyen szivattyuk szívósebessége nemesgázokra nézve igen kicsi, csak néhány százaléka az aktív gázokhoz viszonyítva.

A fenti kérdések megoldására sokféle próbálkozás történt, itt csupán azt a változatot ismertetjük, mely a gyakorlatban jól bevált és széleskörűen elterjedt.



57. ábra. Hall-típusú ion-getter szivattyú. 1. szivócsatlakozó; 2. anód cellák; 3. titán katód;
4. szivattyuház; 5. nagyfeszültségű kivezető.

Az 57. ábrán látható elrendezés Hall-tól származik. Az erős elektromos és mágneses tér hatásos ionizált teret hoz létre, a katódot bombázó ionok pedig megfelelő porlást okoznak, azaz biztosítják a titán fém folyamatos lerakódását. A kisülési, illetve katódfelületek növelésével ilymódon tetszőlegesen nagy szívósebességű szivattyú készíthető. Ma már több 1000 l/s szívósebességű ion-getter szivattyúk is készülnek.

Az ion-getter szivattyúk igen nagy előnye, hogy a leszívandó térbe semmilyen szennyező gőzt vagy gázt nem visznek be. Egy ilyen szivattyú esetén nem szükséges semmilyen kifagyasztás vagy csapdázás. Ha már működnek, nem igényelnek semmilyen működő elővákuumszivattyút, attól lezárhatók és így teljesen zárt rendszert képeznek. Hűtővíz vagy hálózat kimaradás esetén a getterréteg még sokáig alacsony nyomást képes fenntartani. Legnagyobb hátrányuk, hogy nemesgázokra szívósebességük minimális és nagyobb nemesgáz mennyiség leszívására nem alkalmasak.

Ezek a szivattyúk főleg ultravákuum tartományban használatosak. Gumi- vagy olajgőzzel szennyezett rendszerekben hamar elveszti szivattyúzói képességét, u.i. a katód felületére a szerves gőzökből szénréteg rakódik le, ami meggátolja a titán elporlását.

Kryoszivattyúk

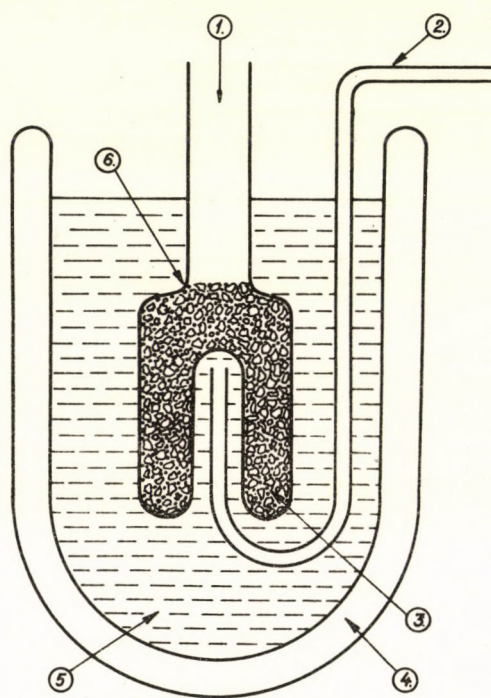
Felépítésük általában igen egyszerű: valamilyen jó adszorbeáló anyagot – rendszerint kókuszdióhéjból készült aktív szenet – kifagyasztanak; mivel az aktív szén adszorpcióképessége a hőmérséklet csökkentésével – természetesen az egyes gázfajtákra nézve másképpen – növekszik, annál jobb vákuumot lehet létrehozni, minél kisebb hőmérsékleten történik a kifagyasztás. A szenet – lehet faszén is – szivattyuként való felhasználása előtt vákuumban hevíteni, azaz

aktiválni kell. 1 g aktiv szén kb. 2500 m^2 felülettel rendelkezik. Néhány gázfajtára, az elnyelés mértékére vonatkozóan a VI. táblázat ad tájékoztatást két különböző hőmérsékleten.

VI. Táblázat

Gáz fajta	0°C	-187°C cseppfolyós levegő
O_2	18 cm^3	230 cm^3
N_2	15 cm^3	155 cm^3
N_2	4 cm^3	135 cm^3
He	2 cm^3	15 cm^3

A hűtött felület növelése érdekében az aktiv szén tartalmazó - rendszerint üvegből készült - szivattyút üreges kivitelben készítik (58. ábra).



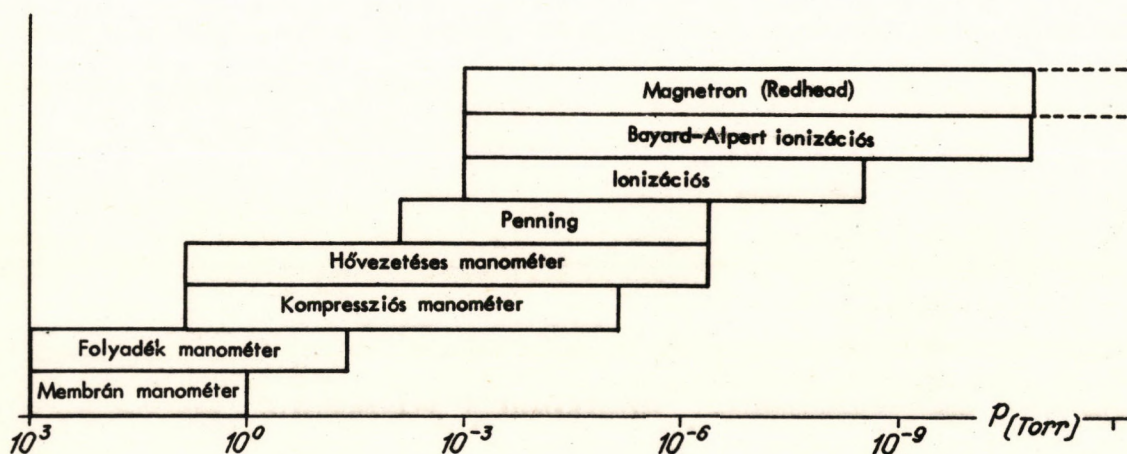
58. ábra. Kryoszivattyú. 1. szívócsatlakozó; 2. hajlított üvegcső; 3. aktiv szén; 4. Dewar-edény; 5. cseppfolyós levegő; 6. üveg.

A kryoszivattyúk igen nagy előnye, hogy semmilyen forgó alkatrészt, működő folyadékot nem tartalmaznak, és - miután elővákuumszivattyúként is használható, ha rotációs pumppal kb. 1 Torr-ra leszívják - majdnem a teljes vákuumtartományban használható. Igen jó vákuum - 10^{-13} Hgmm - is elérhető az ilyen rendszerekkel.

Vákuum-mérők

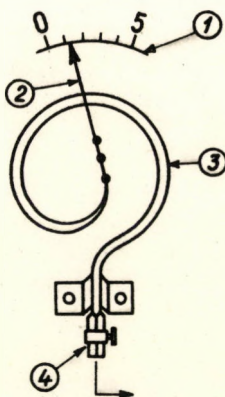
Ahhoz, hogy az adott követelménynek megfelelő vákuumot létesítsünk valamely rendszerben, feltétlenül szükséges u.n. vákuummérő műszer használata, amely lehetőleg folyamatosan mutatja a nyomás nagyságát az adott térben. Megfelelő vákuummérő alkalmazása sok esetben durvább hibák (lyukak) kiküszöbölését is lehetővé teszi. Mint ahogyan a különböző vákuumtartományokban más-más szivattyúk alkalmazása célszerű, az egyes vákuummérő típusok is csak bizonyos nyomás intervallumban alkalmazhatók (VII. táblázat).

VII. Táblázat



Mechanikus vákuummérők

Mechanikus manométerek közül a leghasználatosabb a jól ismert és a nagy nyomások mérésére kiterjedten alkalmazott Bourdon-cső (59. ábra) típusu manométer.

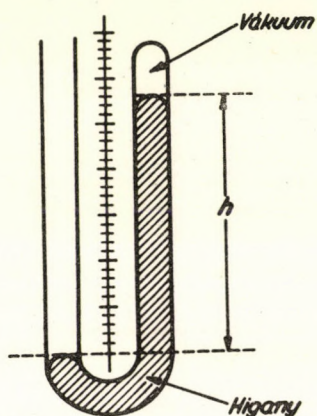


59. ábra. Bourdon-cső típusu manométer. 1. skála; 2. mutató; 3. rugalmas cső; 4. vákuumsatlakozó.

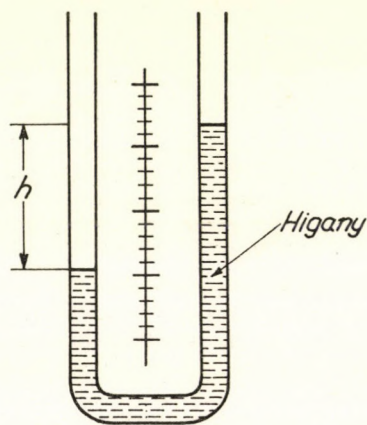
Ez általában 760 - 1 Torr tartományban használatos, de készítenek pl. 100 - 1 Torr, 20 - 1 Torr tartományban működőket is, melyeknek 0,1 Torr a pontossága. Igen elterjedt a fenti méréstartományokban az ugynevezett membrán manométer is. Egy lefenekelt membrán cső - különösen, ha külső vákuumtérben helyezkedik el - a nyomásváltozást kinyúlással, illetőleg összehúzódással indikálja; helyesen választott áttétel segítségével érzékeny nyomásmérő kapható.

Ezeket a manométereket természetesen hitelesíteni kell, azonban jól használhatók ott ahol nem akarunk folyadékgyököket (higany, olaj) a rendszerbe juttatni. Hátrányuk, hogy csak igen jó minőségű rugalmas anyagból készíthetők, különben a használat során pontosságuk nagymértékben csökken. Bizonyos műfogásokkal 1 Torr alatti nyomásmérés is lehetséges az ilyen manométerekkel.

Folyadék manométerekben - melyeket zárt (60. ábra) vagy nyitott (61. ábra) kivitelben készítenek - rendszerint higanyt alkalmaznak; ez kényelmessé teszi a leolvasát, mert a nyomáskülönbséget közvetlenül Torr-okban kapjuk meg. Az ilyen nyomásmérők 760 - 1 Torr nyo-



60. ábra. Zárt folyadék manométer.



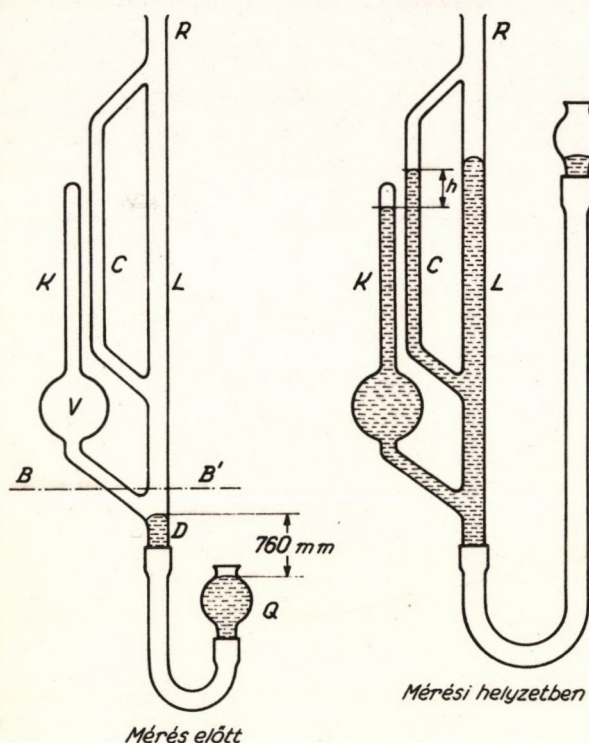
61. ábra. Nyitott folyadék manométer.

más intervallumban használhatók. Ha ebben a tartományban igen pontosan akarunk mérni, akkor úgy járhatunk el, hogy a higannyal töltött egyik szál ferdén álljon.

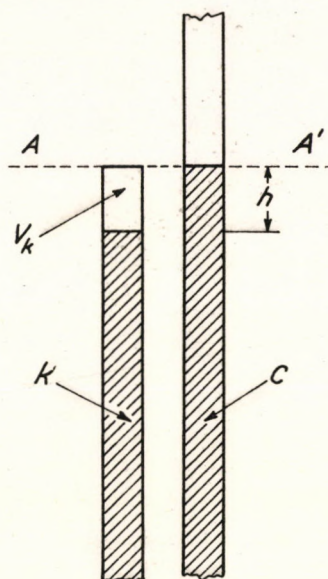
Kompressziós manométer (McLeod)

A folyadék manométerekkel egy Torr-nál kisebb nyomás mérése gyakorlatilag nem lehetséges, mivel olyan kis nyomáskülönbséget kellene leolvasni, melynél az U alakú csőben fellépő kapilláris erők jóval nagyobb hibát okoznak. A kompressziós manométerben egy ismert térfogatu gázt olyan térfogatra komprimálunk össze, hogy az már a folyadékmanométer elven jól mérhető. Ebből és a kompresszió arányából már következtetni lehet a keresett nyomásértékre. Ezt az elvet McLeod alkalmazta először a 62. ábrán látható elrendezés segítségével. Ha a Q higanytartályt felfelé emeljük, az emelkedő higany szint a BB' vonal fölé emelkedik, és a V teret elzárja a mérendő tértől. A higanynivót addig emeljük, amíg a C kapillárisban - a 63. ábra szerint - a higany az AA' vonalig emelkedik; így a K kapillárisba komprimált gáznyomá-

sa annyira megnő, hogy jól észlelhető nívókülönbség keletkezik a két kapillárisban. A kapillaris-átmérő ismeretében a kompresszió-arány pontosan meghatározható.



62. ábra. McLeod manométer.



63. ábra. McLeod manométer mérési helyzetben "hégysztes" leolvasás esetén.

Ha "a" a kapillaris 1 mm-nyi hosszának térfogata, akkor $V_k = a \cdot h$ a "h" mm hosszúságú kapillaris térfogata. A Boyle-Mariotte törvényt alkalmazva

azaz $pV = h \cdot V_k$ /12/

$$pV = h \cdot ah, \quad /13/$$

ahol p a mérendő nyomás. A /13/ egyenletből

$$p = \frac{a}{V} h^2 = \text{konst.} \cdot h^2 \quad /14/$$

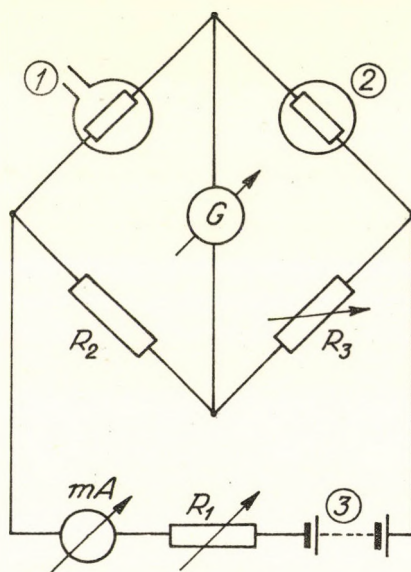
A /14/ formula alapján előre elkészíthető egy skála, amelyről már közvetlenül a nyomás olvasható le. A McLeod manométerrel kb. 10^{-6} Torr-ig mérhetünk, természetesen az adott mérőkompresszió arányától, vagyis a geometria méreteitől függően. A McLeod abszolút vákuummérő igen fontos hitelesítő műszer. Nem folyamatosan működő mérőműszer lévén használata kényelmetlen; másik hátránya, hogy kifagyasztót kell a mérőrendszer és a McLeod vákuummérő közé iktatni a higanygőz miatt.

Hővezetési elven működő vákuummérők

Mint láttuk, az 1 Torr-nál kisebb nyomások mérése csak a kompressziós elv segítségével mérhető közvetlenül. Szükségessé vált más effektusok felhasználása vákuummérésre. Egy ilyen lehetőség a gázok hővezetésének változása a nyomásváltozással; ugyanis a 100 Torr-nál kisebb nyomásokon a gázok hővezetése arányosan csökken a nyomással. Ezen az elven 10 Torr-tól 10^{-3} Torr-ig, esetleg 10^{-4} Torr-ig lehet vákuumot mérni. Így a hővezetési elven működő vákuummérőket legtöbbször elővákuummérőként használják. A fent vázolt effektus több módon használható nyomásindikálásra.

Piráni vákuummérők

Üveg vagy fémházban vékony (kb. 0,05 mm \emptyset) platina vagy wolfram szál van kifeszítve. Ez a szál, mint ellenállás, egy Wheatstone-hid egyik elemét képezi (64. ábra) és konstans tápfeszültséggel bizonyos fűtést kap. Ha a mérőfejben a nyomás változik, megváltozik a gáz



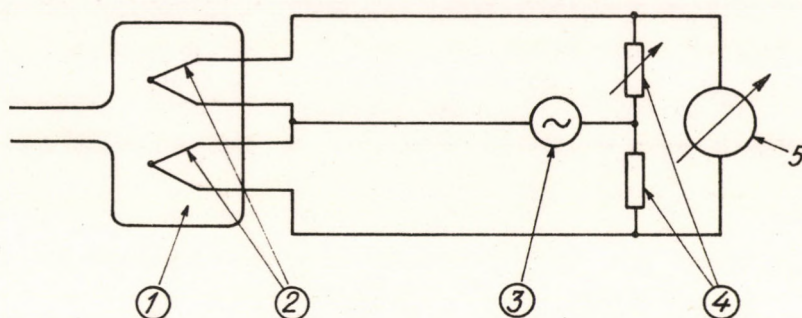
64. ábra. Piráni-vákuummérő elvi kapcsolása. 1. mérőfej; 2. kompenzáló ellenállás
3. feszültségforrás.

hővezetése, azaz ebből következően a szál hőmérséklete. Ez utóbbi viszont az ellenállás megváltozását vonja maga után, melyet a hid műszere megfelelően indikál. A műszert hitelesíteni - pl. egy McLeod manométerrel - kell; a hitelesítésnél figyelembe kell venni, hogy a hővezetés a gázfajtától is függ.

Termoelektromos vákuummérők

Az előbbi típustól annyiban különbözik, hogy nem ellenállás-változással, hanem feszültség-változással indikálja a nyomásváltozást. A termoelem vékony szálból készül (általában 2 sorba kötött termoelemet használnak) és stabil fűtést kap. (65. ábra). Ha csökken a nyomás, azaz a hővezetős, a termoelem nagyobb feszültséget szolgáltat, amit egy mV mérő-

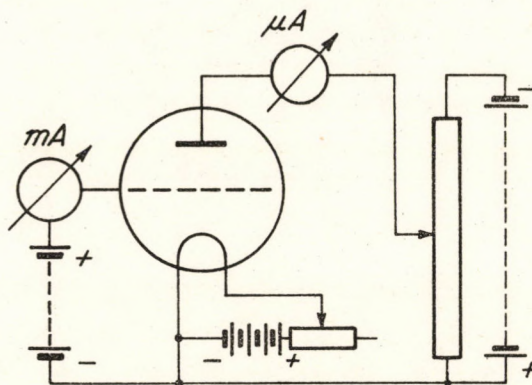
vel indikálni lehet. Megjegyezzük, hogy termoelem helyett ma gyakran használnak termisztort is.



65. ábra. Termoelektromos vákuummérő elvi kapcsolása. 1. mérőfej; 2. termo-elemek; 3. feszültségforrás; 4. ellenállások; 5. mérőműszer.

Ionizációs vákuummérők

Ha a mérendő vákuumtérben izzó katódból nyert elektronokat felgyorsítunk, azok bizonyos hatásfokkal ionizálni fogják a jelenlévő gázt. A keletkezett ionok száma arányos lesz a jelenlévő gáznyomással. Gondoskodni kell természetesen arról, hogy a bombázó elektronok száma ne változzon az időben. A manapság használatos ionizációs mérőfejek lényegében triódára emlékeztetnek és általában a 66. ábrán látható elvi kapcsolásban alkalmazzák. A gya-



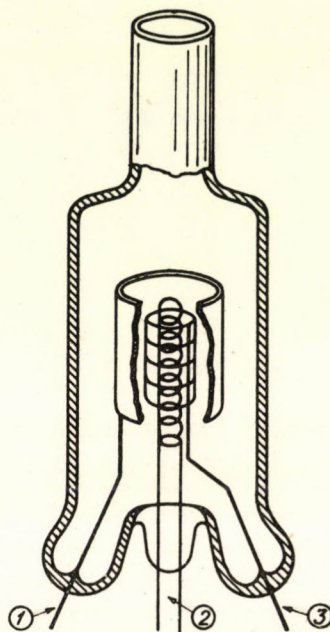
66. ábra. Ionizációs vákuummérő elvi kapcsolása.

korlatban sokkal bonyolultabb elektronikus kapcsolásokat alkalmaznak, mert az ábrán látható elrendezés igen kényelmetlen lenne. Mint már említettük, a bombázó áramot illetőleg az elektronáramot konstans értéken kell tartani, viszont a katód elektronemissziója – különösen a 10^{-3} -tól 10^{-5} Torr tartományban – változik a nyomással, így ezt a fűtéssel kell kompenzálni. Ezért elektroncsövet vagy tranzisztoros kapcsolást alkalmaznak, mely az adott mérőfejek konstans elektronemissziót biztosít.

A fent ismertetett mérőfej segítségével elvileg végtelen kis nyomás is mérhető lenne, ha az árammérés – hiszen ez is csökken a nyomással – megoldható lenne. Az ilyen mód-

szerrel történő nyomásmérés alsó határát nem az árammérés determinálja, ugyanis kb. $5 \cdot 10^{-8}$ Torr-nál kisebb nyomásokon az iongyűjtő elektródon mért áram nem csökken. Ennek az az oka, hogy a rácsba ütköző elektronok folyamatos, lágy röntgen-sugárzást keltenek, mely az ionkollektor felületéről fotoelektronokat vált ki. Ezek áramiránya megegyezik az ionárammal és mint háttér-áram jelentkezik.

A hengeres anódu ionizációs vákuummérőn (67. ábra) Alpert egy ügyes módosítást végzett a következő módon. A nagy felületű anódhenger (iongyűjtő elektróda) helyett egy vékony,



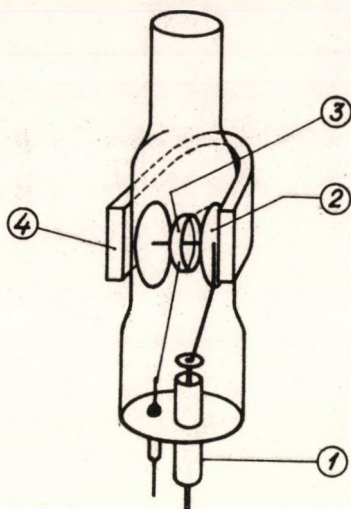
67. ábra. Ionizációs mérőfej.

koncentrikusan elhelyezkedő wolframszálat alkalmazott, s így az anódfelület 2-3 nagyságrenddel lecsökkent. Ennek arányában a fotoelektronok száma és a méréshatár 2-3 nagyságrenddel szintén lecsökkent. Ezzel a típussal, az u.n. Alpert-fejjel már 10^{-10} Torr nyomás is mérhető. Praktikus előnye ennek a típusnak, hogy az excentrikusan elhelyezett katódból több is elhelyezhető és így a mérőfej élettartama megnövelhető.

Penning-típusú vákuummérő

Az ionizációs vákuummérők egyik igen elterjedten alkalmazott fajtája, melynek kifejlesztése Penning nevéhez fűződik. Ez a típusú vákuummérő két, síklapu, aktív felülettel rendelkező elektróda - mint katód - közé helyezett gyűrűszerűen kiképzett anódból áll, melyet egy, a katódok felületére merőlegesen ható külső mágneses tér vesz körül. A katód és anód közötti feszültség 2-3 kV, az alkalmazott külső mágneses tér erőssége 3-400 Gauss (68. ábra).

Az elektromos tér hatására a katódból - a hidegemisszió és a későbbi ionbombázás révén - elektronok lépnek ki, melyeknek - a hideg katódtól az anódra ütközésig befutott - út-



68. ábra. Penning-típusú vákuummérő. 1. nagyfeszültségű bevezető; 2. katód;
3. anód; 4. mágnes.

hosszát az alkalmazott mágneses tér az elektronoknak körpályára való kényszerítése révén a két elektróda közötti távolság több százszorosára növeli. Ez azt jelenti, hogy az egy elektronra eső ionizáció jóval nagyobb, mint mágneses tér nélkül. Az elektródák árama az ion és az elektron-áramból tevődik össze és ez – pontosabban csak az ionáram – a nyomással egyértelmű, szoros kapcsolatban van.

A Penning típusú vákuummérő egy továbbfejlesztett változata az un. magnetron-ionizációs vákuummérő. Konstrukcióját tekintve ez egy kamrákkal ellátott, hengeres katódból és centrikusan elhelyezett anódszálból áll, melyet egy külső, axiális mágneses tér vesz körül. Az ilyen elrendezés biztosítja, hogy az elektronok uthossza tovább növekszik (azaz tovább növekszik az ionizációs áram). Méréstartománya: $10^{-4} - 10^{-8}$ Hgmm.

Lyukkeresés

A vákuumtechnikai gyakorlatban igen fontos, hogy megfelelő lyukkeresési lehetőség álljon rendelkezésünkre, azaz ki kell tudnunk mutatni a tömitétlenséget, hegesztési hibákat, anyaghibákat, stb., melyek esetleg lehetetlenné teszik az adott edény megfelelő vákuumra való leszívását.

Amennyiben un. lyukkereső berendezés (pl. tömegspektrométeres lyukkereső) áll rendelkezésünkre, viszonylag egyszerű a feladat megoldása, mert a kérdéses edényt az előírt módon átvizsgáljuk.

Az első feladat minden esetben az, hogy a vákuumrendszeren belül minél kisebb részére lokalizáljuk a lyuk helyét. Bonyolultabb berendezésnél még megfelelő lyukkereső esetén is hosszadalmas művelet lenne az egész berendezést átvizsgálni. A lokalizálást úgy végezhetjük el, hogy a vákuumrendszer egyes részeit szeparálva azokban beömlést mérünk, amiből nemcsak a lyuk

(vagy lyukak) helye derül ki, hanem a lyuk (vagy lyukak) nagysága is.

Megjegyzendő, hogy egy vákuumrendszerben a megfelelő vákuum elérésének nem mindig egy ténylegesen meglévő lyuk lehet az oka. Lehetséges, hogy valódi lyuk nincs is, a beömlésmérésből mégis nagy lyuk jelenlétére lehet következtetni. A vákuumedény felülete a deszorbeálás révén igen sok gázt, illetve gőzt adhat le, s ez mint egy virtuális lyuk jelentkezik. Ebben az esetben a nyomás értéke a szivattyúzás folyamán az időben csökken, míg a valódi lyuk esetén állandó értéket ad, s ily módon a kétfajta beáramlás jól megkülönböztethető.

Az alábbiakban néhány olyan módszert ismertetünk, melyek lyukkereső hiányában legtöbb esetben célravezetőek lehetnek.

Tulnyomásos lyukkeresés

Ezen módszernek az a lényege, hogy a vizsgálandó vákuumedényt a lehetőségeknek megfelelően az atmoszféra nyomásnál nagyobb nyomás alá helyezzük és a gyanús helyeket szappanoldattal bekenjük; ha lyukas helyhez érünk, a lyuk nagyságától függő sebességgel buborék fog nőni. Kisebb darabokat vízbe mártással is vizsgálhatunk ezzel a módszerrel. Így általában fémrendszereken előforduló nagyobb lyukak keresését végezhetjük olyan esetekben, amikor az illető vákuumedényt elővákuumra sem lehet leszívni.

Igen érzékennyé lehet ezt a módszert tenni, ha ammónia gázt használnak a tulnyomás előállításához és a gyanús helyeket a műszaki rajzok sokszorosításánál használt másolópapírral fedik le; a lyukas helyeken a kiszivárgó ammónia gáz hatására a papír megszíneződik. Ezzel a módszerrel – ha elég hosszú ideig várunk – egészen kis lyukak is kimutathatók.

Alacsony nyomáson történő lyukkeresés

Amennyiben a lyukak nagysága és természetesen a rendelkezésre álló szivattyú teljesítménye lehetővé teszi, hogy a rendszert 10 Torr alá leszívjuk, alkalmazható a kisülési csöves indikálás. A kisülési csövet (Geissler-cső) a rendszerhez csatlakoztatjuk és szívjuk a vákuumedényt. A gyanús helyekre vagy próbagázt (pl. CO_2 , világítógázt) fuvunk, vagy nagy gőznyomású oldószert (benzin, éter, alkohol) kenünk egy ecsettel. Ha a lyukhoz érünk, a kisülés színe (a próbagáztól függően) megváltozik.

Üvegrendszereknél ugyanebben a tartományban jól és gyorsan használható a Tesla transzformátor, mely a vákuumtérben kívülről is hoz létre kisülést. Ha lyuk közelében hozunk létre ily módon kisülést, az igen intenzív lesz, és így a lyuk helye pontosan meghatározható. A módszer hátránya, hogy ha sokáig egy helyen tartjuk fent a kisülést, az üveggel kilyukadhat és ez csak növeli a lyukak számát.

Azokban az esetekben, amikor a vákuumrendszert annyira le lehet szívni, hogy a hővezetési vagy már az ionizációs vákuummérők is működnek – azaz az utóbbi esetben 10^{-3} Torr-nál kisebb a nyomás –, ezek igen jól felhasználhatók lyukkeresésre. Ennek a módszernek az a lényege, hogy a vákuummérők érzékenysége függ a gázfajtától. A lyukon (vagy lyukakon) ugyan-

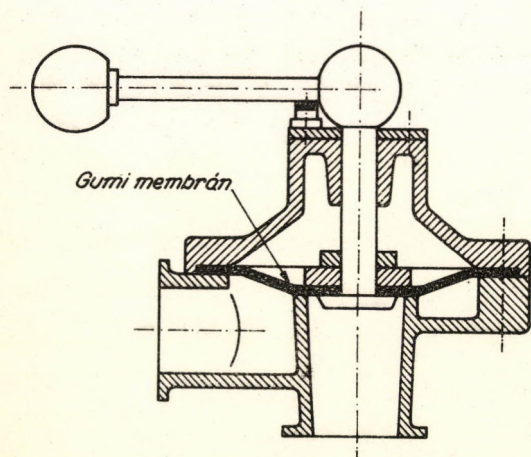
is levegő jut a vákuumtérbe, s valamilyen más gáznak a lyukon való beáramlása jól indikálható változást okoz a nyomásértékben. Így pl. Piráni vákuummérő használatánál igen jó a hidrogén próbagáz. A hidrogén hővezetése ugyanis sokkal nagyobb, mint a levegőé, s ráadásul, - mivel a hidrogén diffúzió sebessége is nagyobb a levegőénél - a hidrogén lyukon való beáramlása intenzívebb, mint levegő esetén. A lyukkeresés legérzékenyebb és legkényelmesebb módszere a tömegspektrométeres lyukkeresés. Ebben az esetben ugyanis a próbagáz - melyet a lyukra fuvunk - igen kis parciális nyomása is érzékelhető. Erre a célra mágneses, az utóbbi időben nagyfrekvenciás tömegspektrométereket is használnak, melyeket lyukkeresés céljára hélium vagy más próbagázzal működtetnek.

Vákuumtechnikai szerelvények

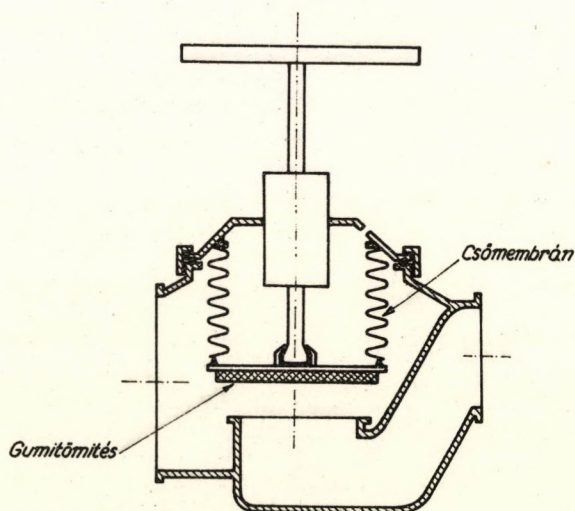
Vákuumszelepek

Az egyes vákuumrendszerek gazdaságos működtetése elképzelhetetlen a különböző szelepek nélkül, ugyanis elengedhetetlen az egyes műveletek végzésénél, hogy a rendszer megfelelő részeit el ne lehessen választani. Így pl. gyakran előfordul, hogy a recipienst fel kell levegőzni, míg a szivattyurendszernek (diffúziós) e művelet alatt és után zavartalanul működni kell. Ez megoldható, ha alkalmas szeleppel a recipienst elválasztjuk a szivattyurendszerrel. Az eddigi ismeretek birtokában érthető, hogy szokás elővákuumszelepekről és nagyvákuumszelepekről beszélni.

Az elővákuumszelepek általában kisméretűek, az elővákuumvezetékek méreteihez alkalmazkodnak. Leggyakoribb a gumimembrános (69. ábra) vagy a csőmembrános (70. ábra) kivitel.



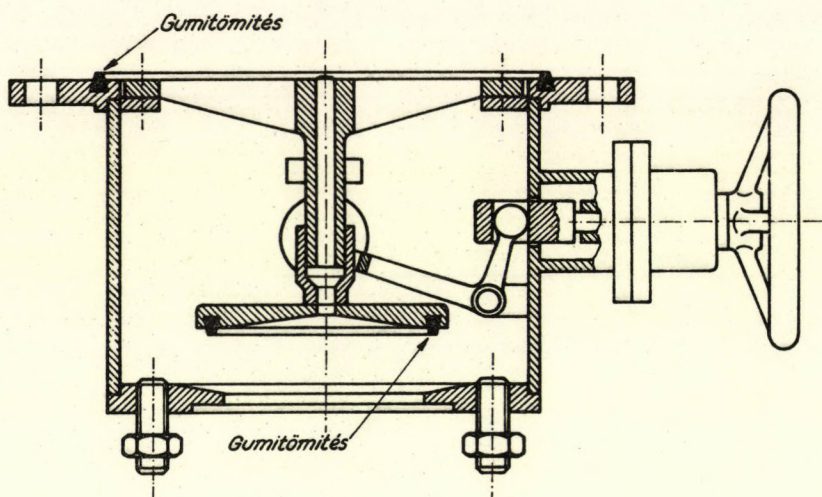
69. ábra. Gumimembrános elővákuum-szelep.



70. ábra. Csőmembrános elővákuum-szelep.

Mivel elővákuumvezetékként gyakran alkalmaznak gumicsövet, szelepként megfelelően kialakított szorítók is használhatók.

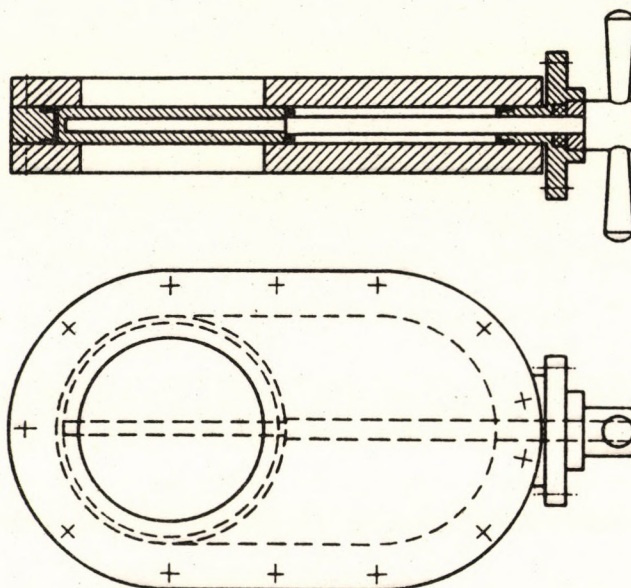
A nagy vákuumszelepek a nagyvákuumvezetékeknek megfelelően jóval nagyobb méretekben készülnek és nagy keresztmetszeteket nyitnak vagy zárnak. Ezek általában un. tányérszelep formájában készülnek igen sok kivitelben. Egy ilyen szelep látható a 71. ábrán.



71. ábra. Tányérszelep.

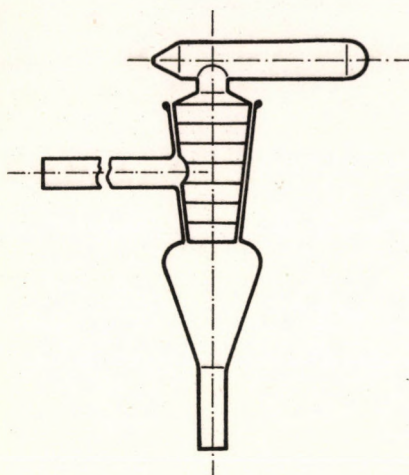
A megfelelő tömitést-zárás esetén-gumi vagy más tömitő gyűrű biztosítja. Ma már gyakran alkalmaznak a kézzel való működtetés helyett elektromágneses működtetésű szelepeket.

Sok esetben szükséges, hogy a záró tányér ne takarja el a szelep nyílását (pl. gyorsító csöveknél). Ekkor az un. zsiliprendszerű szelepet kell alkalmazni (72. ábra).

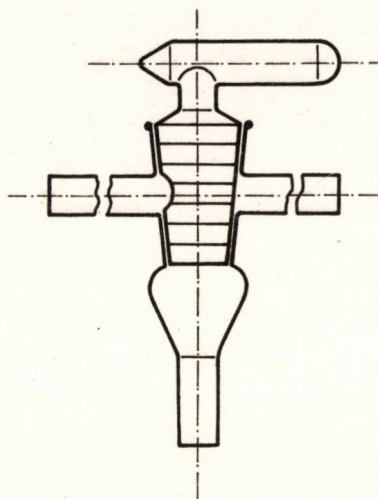


72. ábra. Zsiliprendszerű szelep.

Amennyiben a vákuumrendszer részben vagy egészben üvegből készül, a fent tárgyalt célokra ún. üvegcsapokat alkalmaznak, melyek az üvegrendszer viszonylag kisebb méreteihez igazodnak. Két ilyen üvegcsap látható a 73. és 74. ábrákon.

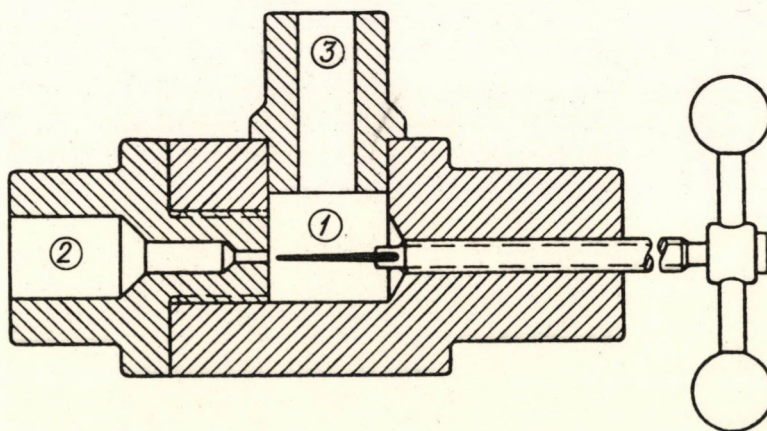


73. ábra. Kényőkirányú vákuumcsap.



74. ábra. Vákuum váltócsap.

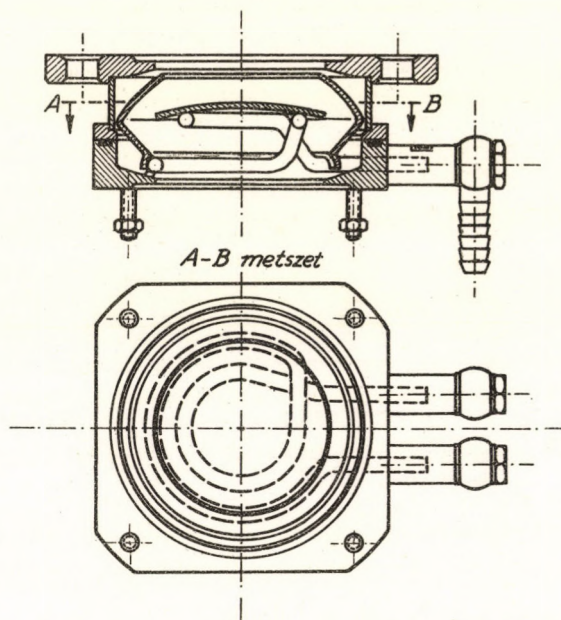
Ezekben a tömitést az összecsiszolt felületek közti - megfelelő minőségű vákuumzsírok biztosítják. A vákuumtechnikai gyakorlatban sokszor előfordul, hogy jól szabályozható gázadagolást vagy mesterséges beömlést kell biztosítani. Az utóbbi pl. a szivattyúk szivósebességének meghatározásánál szükséges. Erre a célra az ún. tűszelepeket használják. A tűszelep tűjének megfelelő becsiszolásával és a tű finom állításával (kis emelkedésű menet) kényelmes gázszabályozás valósítható meg. Egy ilyen egyszerű tűszelep látható a 75. ábrán.



75. ábra. Tűszelep gázáram finom szabályozására. 1. szabályozó tű; 2. vákuumsatlakozó; 3. csatlakozó a gáztartályhoz.



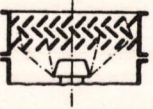
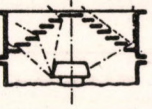
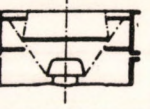
Ahhoz, hogy az egyes vákuumrészeket adott esetben kényelmesen fel tudjuk levegőzni, a tűszelephez hasonló méretű, de finom szabályozás nélküli szelepeket kell használni.

Minden olyan szivattyú típusból, melyben valamilyen folyadék szükséges a működéshez, a folyadék gőze bejut a leszívandó rendszerbe, a felületeken kondenzálódik. Ez igen sok problémát okozhat; pl. a higany amalgámot képez, az olajgőz szénlerakódást, stb. Különösen fennáll ez a probléma diffúziós szivattyúknál, amelyekben a folyadék forrásban van, s a közel 200°C -on levő folyadékból sok gőzmolekula jut a leszívandó térbe. Ezt a diffúziós szivattyú és a leszívandó tér közé iktatott csapdákkal, vagy ún. gőzterelőkkel szokás a minimálisra csökkenteni. Minden ilyen csapdával két ellentétes követelményt kell kielégíteni. Az egyik, hogy minél hatásosabban akadályozza a gőzmolekulák átszökését. Ez azt jelenti, hogy a diffúziós szivattyú felől érkező gőzmolekula minél többször ütközzön a csapda kondenzáló felületeivel, vagyis minél zezzugosabb legyen az útja; így viszont a csapda nagy ellenállást tanúsít a leszívandó gáz irányában is. A másik, hogy lehetőleg minél kisebb mértékben csökkentse a szivattyú hatásfokát, tehát ne képviseljen nagy áramlási ellenállást; ez esetben viszont igen sok gőzmolekula jut a recipiensbe. Az elmondottak szerint tehát kompromisszumot kell kötni a két szélső eset között. Kivitelük sokféle formában történhet, azonban közös vonásuk az, hogy egy, a szivattyú felső részéhez kapcsolt csatlakozó házban általában vízzel, esetleg valamilyen hűtőfolyadékkal hűtött terelő lemezek vannak elhelyezve úgy, hogy a szivattyú felől érkező minden gázmolekula legalább egyszer ütközzön a hűtött felületen. Egy ilyen elrendezés látható a 76. ábrán.



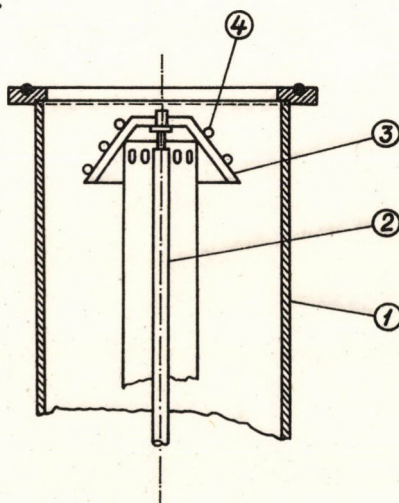
76. ábra. Vízűtőesés vákuumcsapda.

A csapda formája igen sokféleképpen alakítható ki, amint azt a 77. ábra is mutatja. A bemutatott kivitelek kb. a felére, de legalább a $2/3$ -ára csökkentik az alkalmazott szivattyú szívósebességét.

Csapda forma					
Specifikus vezető- képesség (l/s cm ²)	3,6	2,2	2,0	8	1,6

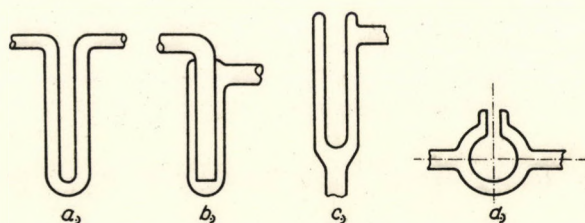
77. ábra. Vákuumsapdák.

A 78. ábrán látható megoldás a szívósebességet alig csökkenti, mégis nagymértékben "leárnýékolja" a diffúziós szivattyút, és kb. 2 nagyságrenddel csökkenti a gőzmolekuláknak a recipiens felé való áramlását.



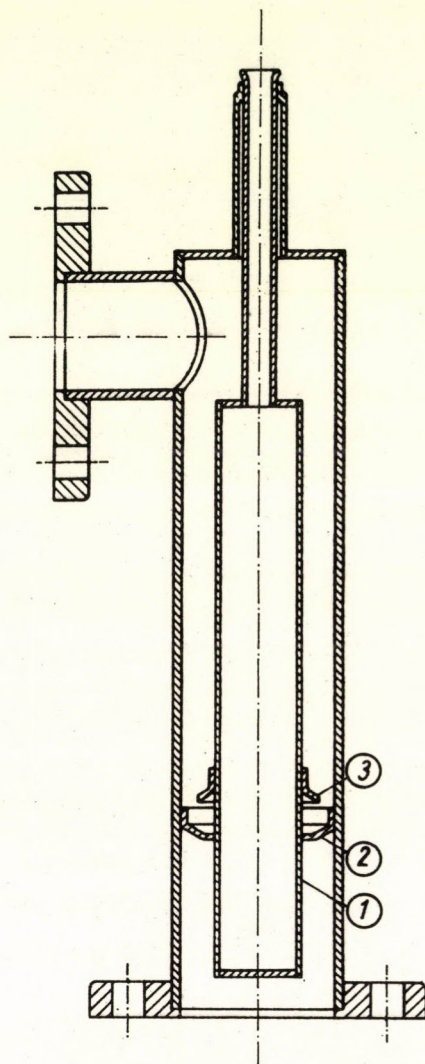
78. ábra. Egyszerű elrendezésű, jó hatásfoku vákuumsapda. 1. szivattyúház; 2. gőzvezető; 3. vákuumsapda; 4. vízhűtés.

Ha a leszívandó térből nemcsak a szivattyú működő folyadékgyőzt, hanem más, esetleges gőzöket (vizgőz, szerves folyadékok gőze, stb.) hatásosan akarunk eltávolítani, akkor ún. kifagyasztókat kell használnunk. Ezek bizonyos mértékig az előbb tárgyalt csapdákhöz hasonlítanak, kiképzésük azonban olyan, hogy valamilyen hűtő folyadékkal alacsony hőmérsékletre lehet a kondenzáló felületet lehűteni. Ilyen használatos hűtőanyagok: szénsavhó alkoholos vagy acetonos keveréke (-78°C), cseppfolyós levegő (-185°C), cseppfolyós hélium (-270°C). Néhány, üvegrendszerek esetén használatos megoldás a 79. ábrán látható.



79. ábra. Üvegből készült vákuumsapdák (kifagyasztók).

Hasonló csapdák fém kivitelben is készülnek. Mivel az üveg jó hőszigetelő, a hűtőfolyadék elhasználódása minimálisra csökkenthető. Fémrendszerekkel hasonló hatásfokot úgy lehet elérni, ha a hűtőanyag tartályt viszonylag rossz hővezető és a lehetőségeknek megfelelően vékony lemezekből, csövekből készítik, hogy a hőelvezetés a környezettel érintkező külső házhoz a lehető legrosszabb legyen. Ilyen célra leggyakrabban a rozsdamentes acélt használják. Egy ilyen fémből készült kifagyasztót mutat a 80. ábra. A leghasználatosabb hűtőfolyadék, a csepp-



80. ábra. Fémből készült kifagyasztó. 1. cseppfolyós levegő tartály;
2. központositó; 3. terelő.

folyós levegő hőmérsékletén a legtöbbet előforduló gőzök és gázok telített gáznyomását a VIII. táblázat tünteti fel.

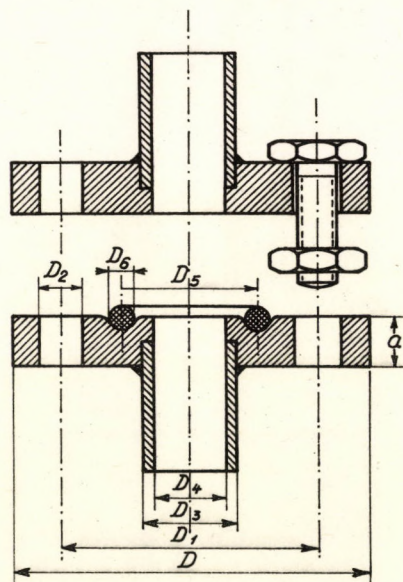
VIII. Táblázat

gőz vagy gáz		Telített gőznyomás - 185°-on (Torr)
Neve	Kémiai képlete	
Aceton	C_3H_6O	10^{-13}
Benzol	C_6H_6	10^{-15}
Víz	H_2O	10^{-22}
Higany	Hg	10^{-27}
Diff. sziv. olaj	-	mérhetetlen
Széndioxid	CO_2	$3 \cdot 10^{-6}$
Kripton	Kr	10
Metán	CH_4	79,8
Xenon	Xe	1
Argon	Ar	760

Vákuum szerelvények csatlakozási problémái

Ahhoz, hogy az egyes vákuumrendszerek sokoldalúan használhatóak legyenek, pl. könnyen átalakíthassuk az éppen megoldandó feladathoz, vagy hogy biztonságosan bonthassuk akár tisztítás, karbantartás vagy egyéb ok miatt, az egyes szerelvényeket úgy kell csatlakoztatni, hogy a könnyű és gyors szerelés mellett mindig biztosan tömítsen is.

Fémrendszerek esetében az egyes szerelvényeket csatlakozó peremmel látják el. A peremek közé tömítő tömítőgyűrűt helyeznek, s a peremek megfelelő összeszorításával biztosítható a megfelelő vákuumzárás. A tömítőgyűrűk készülhetnek természetes gumiból, különböző műgumiból vagy műanyagból, sőt speciális esetekben puhább fémből is (aluminium, réz, ólom, arany). Az ilyen csatlakozások legáltalánosabb formáját mutatja a 81. ábra. Az ábrán látható méretek



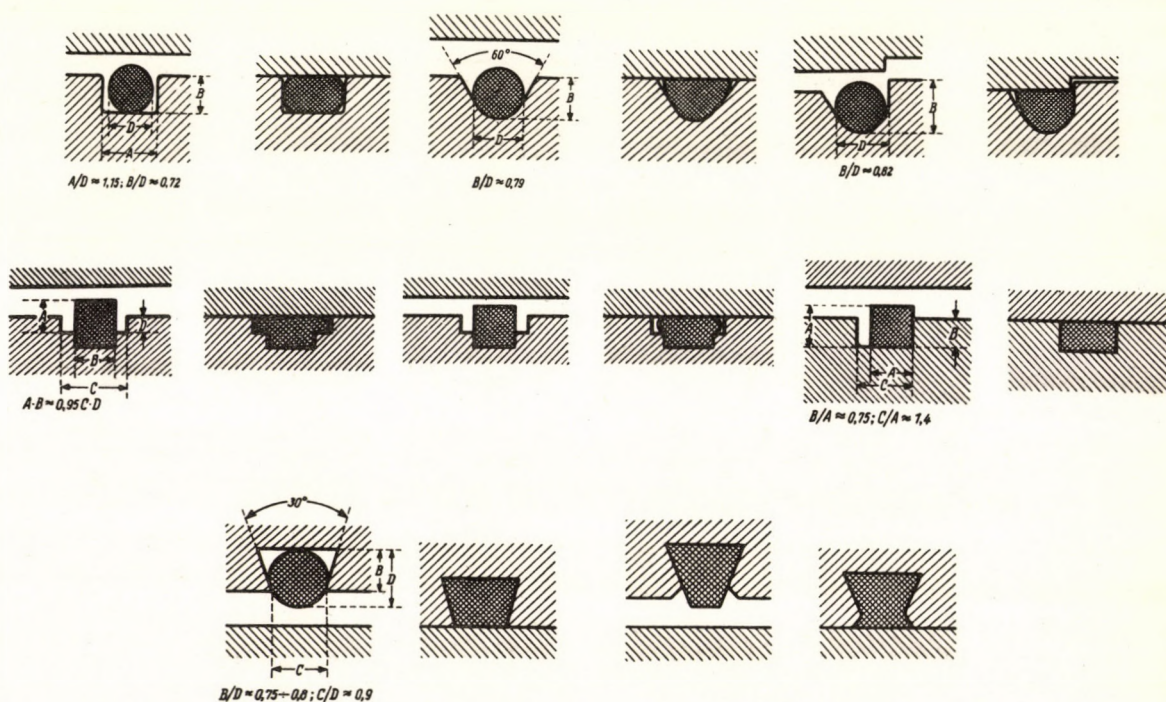
81. ábra. Vákuum csatlakozási elrendezés.

a különböző D-hez – mint alapmérethez – táblázatban vannak összefoglalva. Megjegyezzük, hogy az egyes vákuumtechnikai gyárak (sőt egyes kutató intézetek is) önálló szabvánnyal rendelkeznek. (A 81. ábrával kapcsolatban egy általánosan használt német szabványt ismertettünk.)

Névleges átmérő	D	D ₁	D ₂	Furatok száma	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆ *	a	Csavar méret
NW 10	75	50	11,5	4	15	10	25	5	10	M 10
NW 20	90	65	11,5	4	25	20	35	5	10	M 10
NW 32	120	90	14	4	38	32	55	5	10	M 12
NW 50	140	110	14	4	55	50	80	5	12	M 12
NW (70)	160	130	14	4	75	70	90	5	12	M 12
NW 100	210	170	18	8	108	100	125	5	14	M 16
NW 150	265	225	18	8	159	150	170	5	14	M 16
NW 250	375	335	18	12	256	250	270	8	15	M 16

$$B = 0,79 D_6$$

A tömítőgyűrűt igen sokféleképpen lehet a vágatban elhelyezni, amint arról a következő ábrák is tanuskodnak (82. ábra). Megjegyezzük még, hogy a tömítő-gumigyűrűk méretei – adott vágat méret esetén – attól is függnének, hogy gumigyűrűk milyen gumiból (para, buna, stb.) készülnek.

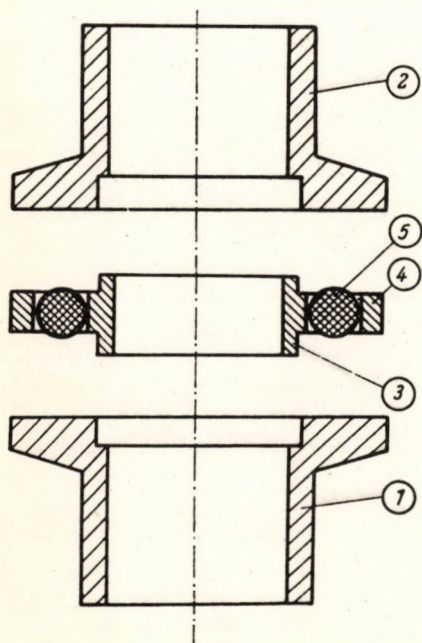


82. ábra. Gumi tömítő-gyűrű profilok és méreteik fém-fém csatlakozások esetén.

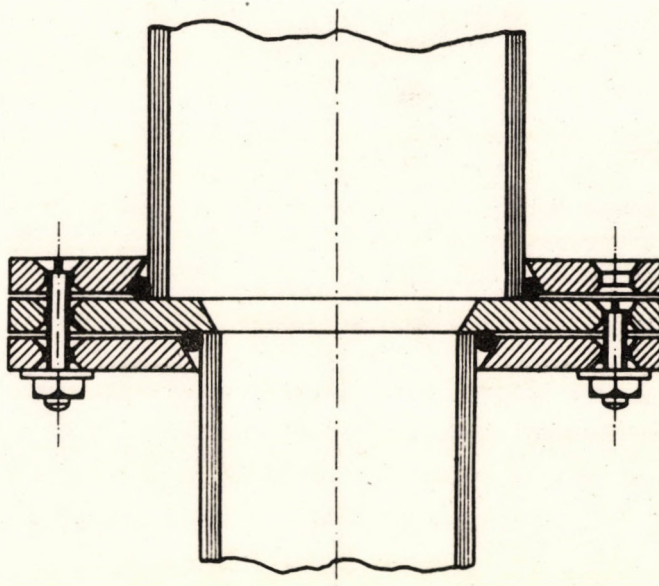
A vájatokat általában úgy kell készíteni, hogy azokon élek ne maradjanak; ezek ugyanis a gumin olyan deformációt hoznak létre, ami lehetetlenné teszi annak többszöri használatát. Igen fontos követelmény, hogy a gumival érintkező fémfelületek simára legyenek kiképezve. (Különösen vigyázni kell arra, hogy a sima peremen radiális irányú karcolás ne legyen.) Ügyelni kell arra is, hogy a csatlakozó peremek megfelelő vastagságu anyagból készüljenek. Erre azért van szükség, hogy az összeszorítás hatására a perem ne szenvedjen deformációt és ennek megfelelően kell a szorítócsavarokat is méretezni. (Lásd. a 81. ábra táblázatát.)

Elterjedt kivitelezési forma, hogy a peremek egyikére sem készítenek vájatot, hanem egy közbenső gyűrű biztosítja a gumigyűrű állandó helyét (83. ábra). Az ilyen elrendezésnek különösen akkor van nagy előnye, ha a csatlakoztatott csövek centrumba való tartása is követelmény.

Igen célszerű a 84. ábrán látható elrendezést használni perem nélküli cső csatlakoztatására (pl. vákuummérők csatlakozása esetén).

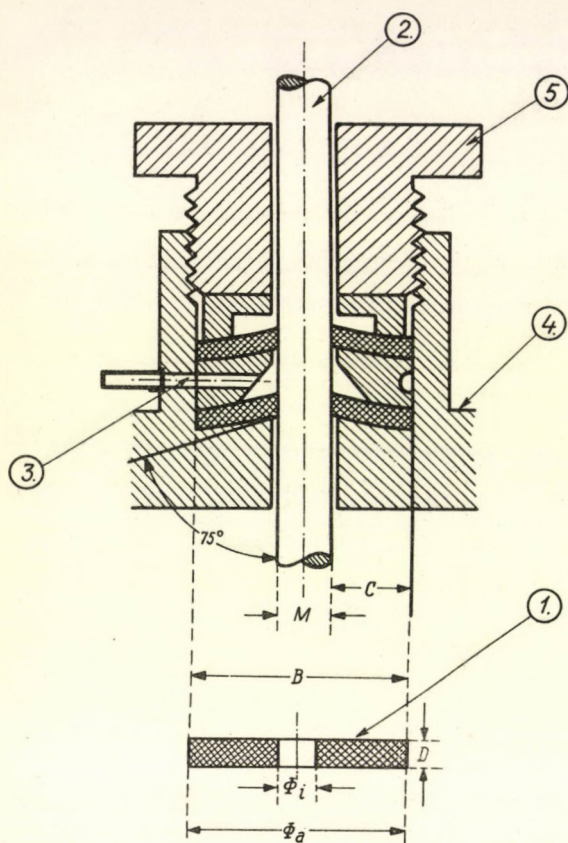


83. ábra. Elrendezés fém-fém csatlakozások esetén közbenső gyűrű alkalmazásával. 1. és 2. csatlakozó peremek; 3. központosító tartó gyűrű; 4. külső fémgyűrű; 5. gumi tömítő gyűrű.



84. ábra. Elrendezés perem nélküli csövek csatlakoztatására.

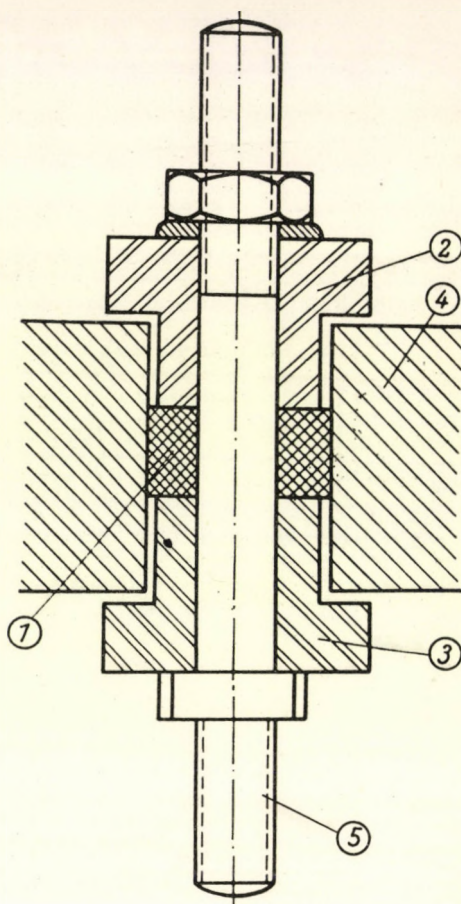
Forgatható tengelyek vákuum tömítésére az ún. Wilson tömítéseket alkalmazzák a legelterjedtebben. A tengelyre amugy is szorosan illeszkedő gumigyűrűk mind a tengelyen, mind a házban jó tömítést adnak, ha a szorítócsavart becsavarjuk. Megfelelő vákuumzsír bepréslésével a könnyű forgás és a vákuumtömítés biztosítható. Általában szilikonzsirt célszerű alkalmazni, ez ugyanis a gumit nem támadja meg. Nagyon lényeges, hogy a tengely sima, lehetőleg polírozott legyen. Egy Wilson-zár és készítéséhez szükséges legfontosabb méretek a 85. ábrán láthatók.



Méretetek:

$\Phi_i / M \approx 0,65 - 0,80$; $D \approx 1,5 - 1,6 \text{ mm}$;
 $M < 20 \text{ mm}$ esetén: $C \approx 5 - 7 \text{ mm}$; $B = \Phi_a = (10 - 14) + M$;
 $M > 20 \text{ mm}$ esetén: $C \approx M/3$; $B = \Phi_a \approx \frac{5}{3} M$

85. ábra. Wilson-zár forgatható tengely vákuum tömitésére. 1. gumi tömitő gyűrű; 2. tengely; 3. zsírozó furat; 4. tömitő ház; 5. szorító csavar.



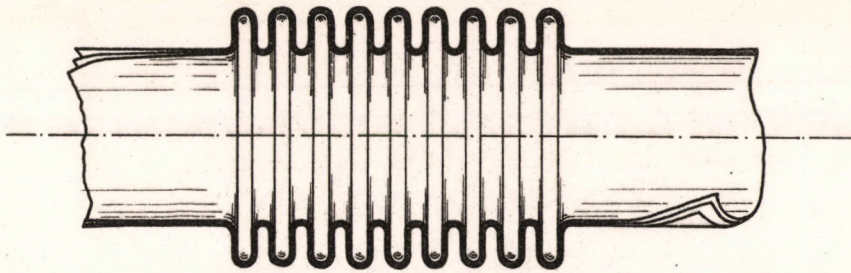
86. ábra. Elrendezés elektromos kivezető vákuum tömitésére.

1. gumi tömitő gyűrű; 2. és 3. szigetelő cső; 4. fémedény fal; 5. elektromos kivezető.

Szinte minden vákuumrendszeren szükséges szigetelt áram vagy feszültség kivezetők alkalmazása. Egy ilyen egyszerű elrendezés látható a 86. ábrán. A szigetelt gyűrűt vákuumra alkalmas, hőálló anyagból kell készíteni.

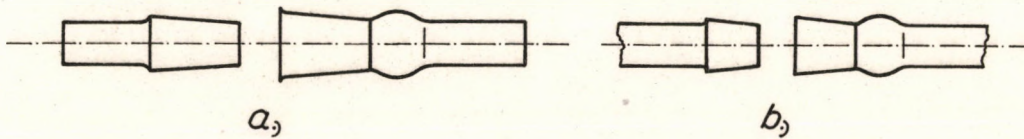
Különösen elővákuum vezetékek céljára sokszor nyer alkalmazást a vákuumgumicső. Ez vastag falu gumicső, mely a szívás alatt a külső atmoszféra nyomás hatására nem szenved deformációt (nem horpad be). Igen alkalmas fém- és üvegcsövek rugalmas csatlakoztatására. A fém vagy üvegcsövet úgy kell megválasztani, hogy a gumicső szorosan legyen a csőre húzható. Ha nem elég szoros a csatlakozás vagy igen biztos tömitést akarunk biztosítani, célszerű szorítóbilincset alkalmazni, ami olivázott (fém- vagy üvegcső külső palástja hullámosra kiképezve) csővégnél a lecsuszás ellen is biztosít. Természetes itt is fontos, hogy a fémfelület megfelelően sima és tiszta legyen. A közönséges (para) gumi sok gőzt ad le; lehetőleg jobb minőségű buna, esetleg vákuum célra alkalmas műanyagcsövet használjunk. Az ilyen csövek alkalmazásának nagy előnye, hogy az előbbieken említett szorítókkal elszorítva egyszerű szelepként is használható.

Bizonyos mértékig mozgatható, rugalmas csatlakozást biztosítanak az ún. tombak-csövek vagy csőmembránok is. (87. ábra). Mivel ezek fémből készülnek, általában forrasztással



87. ábra. Rugalmas csatlakozást biztosító csőmembrán (tombak cső).

tudjuk a vákuumrendszerhez vagy azok csővezetékeihez csatlakoztatni. Fontos alkalmazást nyernek a már tárgyalt vákuumszelepekben, csatlakozásoknál. Üvegrendszerek esetén a csatlakozási problémákat leggyakrabban az un. csiszolatokkal oldják meg (88. ábra). Az összecsiszolt felü-

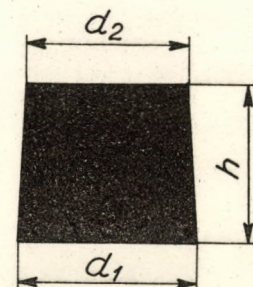


88. ábra. Csiszolatok üvegrendszerek csatlakozásának biztosítására.

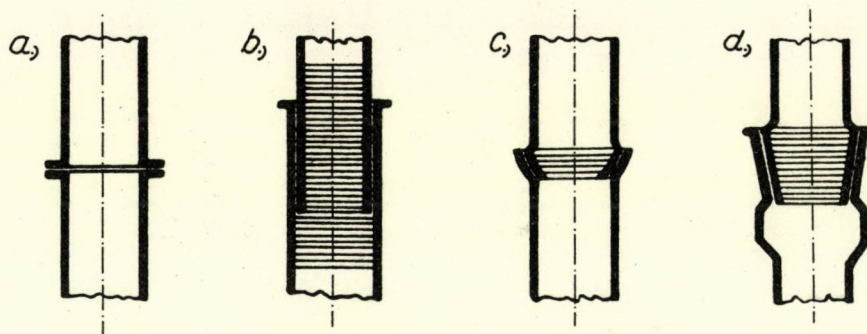
leteket valamilyen vákuumzsír tömíti el. Manapság szabványszerű normál csiszolatokat készítenek, így azok azonos méretű csiszolatokkal felcserélhetők vagy törés esetén könnyen pótolhatók. A IX. táblázatban a szabványos kuposcsiszolatok, illetve azok méretei láthatók.

IX. Táblázat

d_1 (mm)	d_2 (mm)	h (mm)
5	3,7	13
7,5	5,9	16
10	8	19
12,5	10,4	21
14,5	12,1	23
19	16,4	26
24	21,1	29
29	25,8	32
34,5	31	35
45	41	40
60	55,4	46
70	65	50
85	79,5	55
100	94	60



A legáltalánosabb, kupos, normál csiszolatokon kívül a 89. ábrán bemutatunk néhány csiszolatfajtát. Ha nem túl nagy a vákuumigény, akkor gumicső közbeiktatásával is csatlakoztathatunk két üvegcsövet. Természetesen ebben az esetben célszerű minél rövidebb gumicsövet alkalmazni, hogy minél kisebb gumi felület legyen vákuumtérben.



89. ábra. Különlleges csiszolatok üvegrendszerek csatlakoztatásához.
(a. sík-, b. hengeres-, c. gömb- és d. kuposcsiszolat).

Ha üveget kell fémcsőhöz csatlakoztatni, akkor a fent ismertetett csiszolatos megoldás jól alkalmazható úgy, hogy a csiszolatpár egyike fémből, másika üvegből készíthető.

A vákuumtechnikában használatos anyagok

A vákuumtechnikában használatos anyagok (fémek, üvegek, kerámiák, műanyagok, stb.) közül itt csak a leghasználatosabbakat ismertetjük, megadva legfontosabb vákuumtechnikai tulajdonságaikat és azok alkalmazásának lehetőségeit.

Fémek

Wolfram

Atomsulya 183,9, sűrűsége $19,3 \text{ g/cm}^3$, olvadáspontja 3395°C ; hővezetőképessége $0,31 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}$ 20°C -on. Gőztenziója $5 \cdot 10^{-6}$ Torr 2530°C -nál, $4 \cdot 10^{-4}$ Torr 2930°C -on. Maximális munkapont 2560°C . Leggyakrabban huzal ($\varnothing \sim 0,005 \text{ mm}$ -tól), rud vagy lemez formájában alkalmazzák. Használatos minden olyan berendezésben, ahol 2000°C feletti hőmérsékletet kell biztosítani (elektroncsövek katódja, vákuum párologtatóknál izzító forrás, stb.). Fontos alkalmazási területe még üvegbe forrasztott bevezetőként való használata.

Molibdén

Atomsuly 95,9; sűrűség 10 g/cm^3 ; olvadáspontja 2630°C ; gőznyomása 2300°C -on 10^{-3} Torr. Elektronemisszió képessége $8,3 \cdot 10^{-1} \text{ mA/cm}^2$ 1630°C -on, hőkiterjedési együtthatója $55 \cdot 10^{-7} 1/^\circ\text{C}$ a $25 - 300^\circ\text{C}$ hőmérsékleti tartományban.

A molibdén felhasználási területe kb. ugyanaz, mint a wolframé; munkahőmérséklete 1700°C . Igen alkalmas elektroncsövek belső fém alkatrészeinek készítéséhez.

Tantál

Atomsúly 180,8; sűrűsége $16,8 \text{ g/cm}^3$; olvadáspontja 2596°C ; gőznyomása 2407°C -nál 10^{-5} Torr. Hőkitérjedési együtthatója $65 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ a $0 - 100^\circ\text{C}$ tartományban. Elektron-emisszió képessége $8,3 \cdot 10^{-1} \text{ mA/cm}^2$ 1630°C -nál.

Vas

Különböző fémekkel nyert ötvözei egyike a leggyakrabban használt alapanyagnak a vákuumtechnikában. Ezekből készülnek a vákuumedények, csővezetékek, stb. A különböző minőségű vas olvadáspontját, sűrűségét és hőkitérjedési együtthatóját az ötvöző elemek százalékos összetétele határozza meg. Igen gyakran alkalmazzák a rozsdamentes acélokat ultramagas-vákuum berendezések készítésére. A rozsdamentes acélok igen sok, különböző minőségben készülnek; vákuumtechnikai célokra a 74 % Fe, 18 % Co, 8 % Ni összetétel igen jól felhasználható. A rozsdamentes acélok rossz hővezetők, antimágneses tulajdonságuk és korróziállók.

Réz

Olvadáspontja 1085°C , jó elektromos hővezetőképességgel rendelkezik. Hőkitérjedési együtthatója $165 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Jól használhatók ötvözei is; így pl. gyakran alkalmazzák a berilliumbronzot (97,5 %, 2,5 % Be) rugalmas membránok készítésére. A már említett tombak (72 % Cu, 28 % Be) is igen gyakran használatos, főleg rugalmas membráncsövek készítésénél.

Nikkel

Olvadáspontja 1455°C . Ferromágneses anyag. A vákuumban olvasztott nikkel könnyen megmunkálható és alacsony gőznyomása miatt jól használható elektroncsövek belső alkatrészeként. Utóbbi célra igen alkalmassá teszi az a tulajdonsága is, hogy jól ponthegeszthető, valamint keményforrasztható.

Aluminium

Olvadáspontja 660°C . Kis gázáteresztő képessége miatt vákuumkamrák ablakainak befedésére használják. Ilyenkor pl. röntgen-sugarat vagy elektron-sugarat kell kihozni a vákuumtérből az atmoszférára. A vákuumpárolgatott aluminium réteg reflexióképessége igen jó, ezért jó minőségű tükör készíthető a fenti módszerrel. Aluminiumból kisebb vákuumszerelvények is készíthetők, ha higanygőz nincs a rendszerben.

Higany

Szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotú fém. Igen fontos szerepet játszik a vákuumtechnikában (diffúziós szivattyúk üzemanyaga, manométerek töltőfolyadék, stb.). A higany gőztenzióinak hőmérséklet függését a X. táblázat mutatja.

Vigyázni kell arra, hogy a higany színes fémmel ne érintkezzen, mert megtámadja azt. A vákuumtechnikában felhasználása előtt tisztítani kell.

X. Táblázat

t (°C)	P (Torr)	t (°C)	P (Torr)
- 180	$2 \cdot 10^{-27}$	- 20	$2,6 \cdot 10^{-5}$
- 100	$2,4 \cdot 10^{-11}$	- 10	$7,9 \cdot 10^{-5}$
- 78	$2,4 \cdot 10^{-9}$	0	$2,2 \cdot 10^{-4}$
- 60	$9,9 \cdot 10^{-8}$	10	$5,6 \cdot 10^{-4}$
- 50	$4,9 \cdot 10^{-7}$	20	$1,4 \cdot 10^{-3}$
- 38,9	$2,5 \cdot 10^{-6}$	30	$3,1 \cdot 10^{-3}$

Titán

Olvadási pontja: 1690°C ; sűrűsége $4,5 \text{ g/cm}^3$; gőznyomása 1249°C -on 10^{-4} Torr, 1384°C -on 10^{-3} Torr, 1546°C -on 10^{-2} Torr.

Látható, hogy az olvadáspont alatti hőmérsékleteken is jól "szublimál". Mivel az aktív gázokra nézve kitűnő getter anyag, nagyon jól használható getterszivattyúk üzemanyagaként. Szívesen alkalmazzák elektroncsövek, különösen adócsövek alkatrészeiként. Ez azért előnyös, mert a fém - megfelelő körülmények között - párolgás nélkül is jól abszorbeálja az oxigént és a nitrogént.

Gallium

Olvadáspontja $29,7^{\circ}\text{C}$, ugyanakkor még 771°C -on is csak 10^{-5} Torr a gőznyomása. Ezzel a tulajdonságával magyarázható vákuumtechnikai alkalmazhatósága. Sok esetben a higany helyettesítésére is jól használható, pl. higanyzár helyett. A gallium u.i. szobahőmérsékleten szilárd anyag, kézmelegre folyékonnyá válik.

Magnézium, bárium

Előbbi 650°C -on, utóbbi 704°C -on olvad. Egyik fém sem annyira konstrukciós elemként való alkalmazásával, inkább kitűnő getterező tulajdonsága révén lett jelentős a vákuumtechnikában.

Az üveg

Az üveg a vákuumtechnikában használatos anyagok közül az egyik legfontosabb nyersanyag. Még magas hőmérsékleteken is kicsi a gőznyomása, ugyanakkor fuvó lángon jól megmunkálható.

Az üveg tulajdonképpen túlűtött folyadék, amelynek viszkozitása annyira megnövekedett, hogy a szilárd test mechanikai tulajdonságaival rendelkezik. Ez a szilárd állapotba való átmenet megfordítható. Az üveg amorf, izotróp anyag, azaz tulajdonságai függetlenek attól

az iránytól, amelyben azokat vizsgáljuk. Ilyen állapotba sokféle olvadék kerülhet: itt a SiO_2 (kvarc) és különböző fénoxidok (B_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O , MgO , K_2O , stb.) olvadékaiból készült üvegről lesz szó. Néhány üvegfajtát - az összetétel százalékos arányban van feltüntetve - a XI. táblázat mutat.

XI. Táblázat

Üveg fajta	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO
Kvarc	100						
Razotherm (jénai)	79,0	14,0	2,5	4,5			
Pyrex	80	13,5	2	4,5			
Schilling (jénai)	73,1	-	2,2	13,4	5,3	5,8	
Magnézia (tokodi)	71,57	-	1,46	16,78	0,87	5,43	3,71

Az itt feltüntetett üvegfajták csak igen kis részét képezik a teljes felsorolásnak. Az egyes összetevők száma és aránya a legkülönbözőbb tulajdonságokkal rendelkező üvegfajtákat eredményezi. Ezért adott esetben mindig figyelembe kell venni a megmunkálási lehetőséget, szilárdsági tényezőket, stb. Miután az üveg-vákuumrendszereket legtöbb esetben úgy készítik, hogy a vezetékeket összeforrasztják, vigyázni kell arra, hogy azonos fajtájú üvegeket forrasszunk össze. Ha ez valamilyen okból nem lehetséges, akkor ún. átmenetet kell közbeiktatni, hogy a különböző hőkiterjedésű üvegfajtákat összeköthessük. Az ún. lágyüvegek (pl. ólomüveg, alkáli üvegek) hőkiterjedési együtthatója $(80 - 90) \cdot 10^{-7} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, a keményüveké $(30 - 50) \cdot 10^{-7} \frac{1}{^\circ\text{C}}$. A lágy üveget 600°C körül, a kemény üveget $800 - 900^\circ\text{C}$ között, míg a kvarcüveget (hőkiterjedési együtthatója $6 \cdot 10^{-7} \frac{1}{^\circ\text{C}}$) 1900°C körül lehet megmunkálni. Az alkalmazandó üveg típusoknál figyelembe kell venni esetleg más jellemző adatot is, mint pl. a hőlékés állóságot, elektromos és kémiai tulajdonságot. Speciális tulajdonságok figyelembevétele is szükségessé válik egyes esetekben, mint pl. a neutron elnyelő képesség (üvegből készült neutronszámláló cső), gázáteresztőképesség (ultravákuum tartományban), stb.

A vákuumtechnikai célra használható üveget leggyakrabban különböző méretű csőalakban hozzák forgalomba. Fontos szerepe van az üvegnek nemcsak tiszta üvegrendszerek, hanem mérőfejek (Piráni, Penning) esetén is, de az üveg alkalmazható, mint szigetelő bevezető anyag, vákuumrendszer ablaka, stb. is.

Fém-Üveg kötések

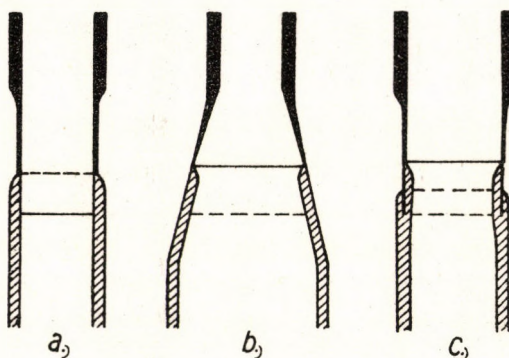
Manapság elkerülhetetlen, hogy a legkülönbözőbb vákuumtechnikai berendezésekben (elektroncsövek, mérőfejek, stb.) ne kelljen egyes fémeknek üveggel való vákuumbiztos kötését, beforrasztását megoldani. Ahhoz, hogy tartós és vákuumtechnikai szempontból jó kötést nyerjünk, két lényeges feltételt kell biztosítani: egyrészt olyan fémeket és üveget kell használni, hogy a

hőkitérjedési együtthatók közel egyenlők legyenek, másrészt a kötésnek biztosnak kell lennie. Ez utóbbit általában a fémen keletkezett vékony oxidréteg teszi lehetővé, mely mintegy összeolvad az üveggel.

Üvegbe legkönnyebben platina elektróda beforrasztása lehetséges. Olyan üvegbe, melynek hőtágulási együtthatója $(80 - 100) \cdot 10^{-7} \frac{1}{^\circ\text{C}}$, akár 1 mm átmérőjű platina huzal is beforrasztható; vékony platinaszál bármilyen üvegbe is forrasztható. A platina tapadását az üveghez nem az oxidréteg, hanem az adhéziónak erő biztosítja. A beforrasztás után is látható a platina eredeti fémes színe, míg legtöbb fém üvegbe való forrasztás után jellegzetes elszíneződést mutat a felületen.

A dumet - olyan huzal, melynek külső köpenye tiszta réz, belseje nikkelacél - igen jól forrasztható kb. $90 \cdot 10^{-7} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ hőtágulási üvegekbe. A rézköpeny oxidja jól oldódik az üvegben és 750 - 800 °C-on 0,8 mm átmérőig jól forrasztható. Lágýüvegekkel - tehát viszonylag nagy hőkitérjedésű üvegekkel - a vas egyes ötvözetei, mint pl. az invar, kovar szintén jól forrasztható. Kemény üvegeknél wolframot, molibdént, ritkábban krómáccelt használnak. Ma már több cég hoz forgalomba olyan üvegeket, amelyek ezen fémekhez kitűnően forraszthatók, s ezeket molibdén, illetve wolframüvegeknek nevezik. Készítenek többek között egész üvegsorozatot, ún. közbenső üvegeket, melyeknél a hőkitérjedési együttható fokozatosan változik az egészen lágý üvegtől a kvarcig. Ha ilyen rendelkezésre áll, akkor a beforrasztandó fémet a legalkalmasabb üvegbe kell beforrasztani, s annyi közbenső üveg közbeiktatásával kell ezt a végleges üveghez forrasztani, amennyi szükséges a hőkitérjedésű együtthatók áthidalásához. Természetesen különböző üvegfajták közötti átmenetek is könnyen készíthetők ilyen üvegsorozat birtokában.

Mint már említettük, pl. a vörösréz oxidja igen jól köt az üveghez, azonban nagy hőkitérjedési együtthatója miatt egyszerű módon nem forrasztható az üveghez. A dumet csak vékony szálként használható. Nagy átmérőjű rézcsovek is beforraszthatók üvegbe abban az esetben, ha az összeforrasztásnál és annak közelében a rézfalat olyan vékonyra képezzük, hogy lehűléskor a nagy hőkitérjedési együttható különbségek miatt fellépő feszültség kiegyenlítődhet. Ilyen megoldások láthatók a 90. ábrán.



90. ábra. Fém-üveg kötések. (A vonalkázott rész az üveg.)

Megjegyzendő, hogy ilyen célra vákuumban olvasztott, oxigénmentes elektrolitrezet lehet csak használni; a kereskedelemben OFHC-réz néven hozzák forgalomba.

Tömítő anyagok

A bontható vákuumcsatlakozások tömítő anyagai közül a legközségesebb a paragumi (természetes nyersgumi vulkanizálva), mely mind körkeresztmetszetű gumizsinór, mind gumilemez-ből kivágott tömítő anyag formában egyaránt használható. Olcsó, de 10^{-5} Torr-nál kisebb nyomások esetén nem nagyon használható. Nagy vákuum célokra sokkal megelőbb a szintetikus gumi (bunagumi), amely nemcsak kisebb gőznyomása, hanem olajállósága, valamint hőállóképessége (kb. $+150^{\circ}\text{C}$ -ig) miatt is jobb a természetes guminál.

Az un. szilikon gumi (dimethyl pelysiloxan) még magasabb hőmérsékleten is használható (tartósan $+180^{\circ}\text{C}$ -ig, rövid ideig $+250^{\circ}\text{C}$ -ig is).

Igen alacsony gőznyomásával és magas foku hőállóságával tűnik ki a teflon (tetrafluorethylén). Még $+250^{\circ}\text{C}$ -on is tartósan használható. Ezenkívül jó elektromos szigetelő és így elektromos bevezetők tömítésénél a legkülönlegesebb igények esetén is kitűnően alkalmazható.

Igen szívesen alkalmazzák tömítőanyagként a "viton"-t, a "hosteflon"-t; ezek hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a teflon. Bizonyos esetekben jól használható tömítőanyagként a poliethylen, PVC. Ezek hőállósága igen kicsi, s használatuknál ezt figyelembe kell venni.

A teflon típusu műanyag-tömítések már hangsúlyozott hőállósága abból a szempontból fontos, hogy ezeket elsősorban ultravákuum-tartományban gazdaságos alkalmazni; az ilyen tartományban – szinte kivétel nélkül – a rendszereket ugyanis kályházni kell. Ezek a kiváló tulajdonságú műanyagok $250 - 300^{\circ}\text{C}$ -t bírnak ki. Ahol ennél is magasabb hőfoku kályházást kell alkalmazni, ott fémtömítést kell használni. Ilyen célra puha fémek a legalkalmasabbak. Természetesen a csatlakozó peremeket ennek megfelelően kell kialakítani. A tömítésre leginkább az ólom, alumínium, arany és ezüst felel meg.

A tömítőanyagok egy másik csoportját képezik a különböző vákuumzsírok. Ezeknél is – mint az előbbi tömítőanyagoknál – az elsődleges szempont a telített gőznyomásuk. Alkalmazásuk a különböző csiszolt felületek (csapok, csiszolatok, stb.) vagy egyéb mozgó tömítések (Wilson-zár) esetében elengedhetetlen.

Igen egyszerűen előállítható az un. Ramsay-zsir, mely nyersgumi, vazelin és paraffin összeolvasztásával nyerhető; elég magas gőztenziója miatt csak 10^{-4} Torr-ig használható.

Leggyakrabban a különböző apiezon típusu zsírok használatosak, melyek megfelelően kezelt nehéz szénhidrogének; 10^{-8} Torr-ig használhatóak. Hasonló tulajdonságokkal rendelkezik a szilikon zsír; gőznyomása ugyancsak 10^{-8} Torr. Míg az apiezon $+30^{\circ}\text{C}$ -ig, a szilikon $+150^{\circ}\text{C}$ -ig is használható; előbbi gumitömítéseknél ne alkalmazzuk, mert oldja azt. A vákuumolajok elsősorban a diffúziós szivattyúk – vagy rotációs szivattyúk – üzemanyagaként jönnek

számításba. Gőztenziójuk kicsi, ritkán tömítőanyagként is használhatók.

Mint a zsírok esetén, a leghasználatosabb olajok az apiezon és a szilikon típusu olajok. Mindkét olaj gőztenziója 10^{-6} - 10^{-8} Torr. Ezeken kívül ma már igen sok fajta, főleg szintetikus vákuumolaj van forgalomban.

Sokat használt tömítő anyag a külsőre a szurokhoz hasonló picein, mely különösen ideiglenes, gyors tömítés esetén használatos. Általában úgy alkalmazzuk, hogy az összeillesztendő felületeket felmelegítjük kb. 50°C -ra, s a megfelelően megolvasztott piceint rávisszük a kérdéses felületekre, majd összeillesztjük ezeket. Lehűlés után szilárd, de nem merev tömítést ad. Telített gőznyomása kb. 10^{-4} Torr. Ha az összeillesztett felületek között rés marad, ott idővel lyuk keletkezik.

A kézmelegre is lágyuló un. Wachs, grafit és vákuumolaj keveréke, melyet főleg ideiglenes tömítésre használunk.

Egyes lakkok - melyeknek száradás után alacsony a gőztenziója - szintén nyerhetnek alkalmazást, mint tömítőanyagok. Ilyenek pl. sellak, glyptallak. Ezek porózus vákuumedény falak eltömítésére, esetleg jól összeillő felületek ragasztására is alkalmasak.

Használhatók tömítőanyagként mindazok a ragasztók is, melyek alacsony gőztenzióval rendelkeznek. Az egyik ilyen ragasztótípus - részletesen ld. a IV. részben - az epoxigyanta alapanyagu ragasztó, pl. az un. araldit. Az ezekkel történő ragasztás technológiáját a gyártó cégek megadják. Ismeretes az un. meleg araldit, melynél az összeragasztandó felületeket $150 - 200^{\circ}\text{C}$ -ra fel kell melegíteni és huzamosabb ideig ezen a hőmérsékleten tartani, amíg a ragasztó megkeményedik.

Igen használatos az un. hideg araldit is (nálunk Epokitt néven kerül forgalomba). Ez a ragasztás előtt két anyag összekeveredéséből kapott ragasztóanyag; szobahőmérsékleten kb. 24 óra alatt keményedik meg. Nem ad olyan jó kötést, mint a meleg araldit. Fém-fém, fém-üveg, fém-kerámia jól ragasztható; megjegyzendő, hogy a kötés igen merev, s így előfordulhat, hogy a ragasztás helyén repedés áll elő. Több műanyag (polietilén, PVC, plexi) egyáltalán nem, vagy igen rosszul köt ezzel a ragasztóval.

Az araldit típusu ragasztók előnye, hogy viszonylag magas hőmérsékleten ($150 - 200^{\circ}\text{C}$ -on) sem veszít el kötőképességüket, s oldószerek alig támadják meg.

Fém-üveg ragasztásra igen jól használható a polivinilacetát ragasztó, mely elég plasztikus kötést ad fém és üveg között, így az üveg nem reped meg. A ragasztás úgy történik, hogy a polivinilacetátot acetonban feloldva fel kell vinni a ragasztandó felületre, kb. 170°C -on 2 órán át kell hevíteni és ugyanilyen hőmérsékleten összeillesztve a felületet (megfelelő nyomás alatt) óvatosan le kell hűteni. Ez a ragasztó nem alkalmazható olyan helyeken, ahol erős felmelegedés várható. Reverzibilis ragasztó lévén melegítéssel az összeragasztott felületek újra szétzedhetők. Gőznyomása igen kicsi, megfelelő kezelés (szívás) után 10^{-6} Torr-ig is feljavul. Igen sok műanyag ragasztó-használatos még a vákuumtechnikában. Alkalmazásuk előtt mindig győződjünk meg a kötés utáni gőztenzióról. Azt is meg kell vizsgálni, hogy a ragasztó elég tömör-e.

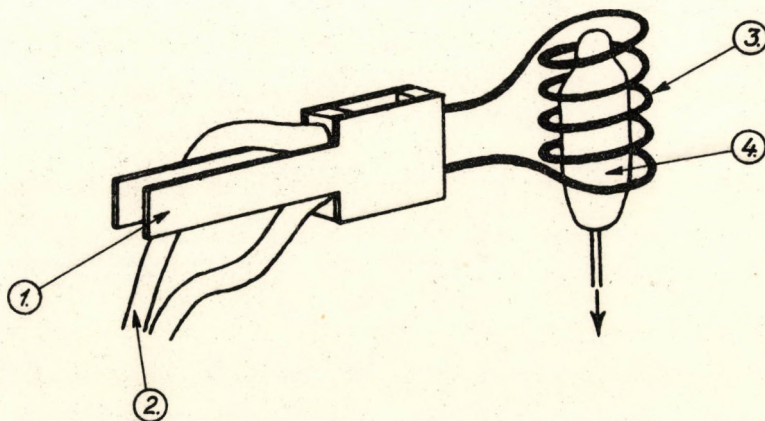
Az a ragasztó, amely szemmel láthatóan buborékos, legtöbb esetben nem biztosít lyukmentes tömítést. Természetes, hogy az adott követelményeknek megfelelően az alkalmazott ragasztó szilárdsági, tapadási tulajdonságait is figyelembe kell venni a már említetteken kívül.

Vákuum felületek tisztítása

A vákuumtechnikában igen fontos szerepe van az egyes tisztítási eljárásoknak; a vákuumtechnikai szempontból szennyezett felületek ugyanis a jó vákuum elérését akadályozzák, esetleg teljesen lehetetlenné is teszik. Nagy gondot kell fordítani a vákuumrendszer azon részeinek tisztítására is, melyek nem érintkeznek ugyan közvetlenül a vákuumrendszerrel, de a kérdéses felületek, melyek valamilyen tömítő anyaggal érintkeznek, döntően befolyásolhatják a tömítés minőségét (pl. a tömítő gumigyűrű, vagy a ragasztó tapadását az illető felülethez). Miután a vákuumrendszerek nagyrészt fémből és üvegből készülnek, igen fontos azon eljárások ismerete, melyek révén – vákuumtechnikai szempontból – tiszta felületek nyerhetők. (Az üveg tisztításával később foglalkozunk).

A fémek tisztítását a durva szennyeződések, rozsdá, stb. eltávolításával kezdjük. Erre a célra homokfuvást, drótkefét, csiszolópapírt használjunk. Ezután, illetve ha erre nem lenne szükség, a felületen lévő por, zsír eltávolítása következik. Oldószerként leggyakrabban a tiszta benzín, petroléter, xylol, széntetraklorid használatos. Ezen oldószerekkel a tisztítás úgy történik, hogy az oldószerral papírvattacsomót nedvesítünk meg és a tisztítandó felületet addig dörzsöljük, míg az egyre újabb vattacsomón szennyeződés nem látszik. A papírvatta használata azért célszerű, mert ebből nem maradnak hosszú szálak a felületen, melyek gumitömítéseknél azt át-
hidalva tömítetlenséget okoznak.

Ha az egyes fémrészek (pl. elektroncsövek fémelektródái) felületi tisztaságával szemben nagy követelményeket támasztunk, vákuumban való tisztítást kell alkalmazni. Ez nemcsak tiszta felületet eredményez, hanem az abszorbeált gázok jó részét is eltávolítja a fémből. Az izzítás nagyfrekvenciás kibombázással végezhető el. Az illető fémrészeket nagyvákuumban egy nagyfrekvenciás generátor tekercsének belsejébe (91. ábra) helyezve mindaddig izzítjuk, míg a vákuum-



91. ábra. Nagyfrekvenciás berendezés fémfelületek vákuumban való tisztításához. 1. szigetelt fogó; 2. vízűtés; 3. nagyfrekvenciás tekercs; 4. fémalkatrészeket tartalmazó vákuum cső.

térben a nyomás értéke már további izzítás hatására sem változik lényegesen.

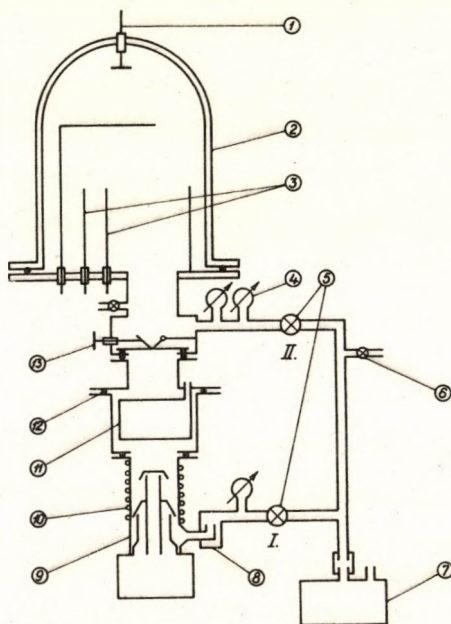
Bizonyos esetekben nagyfrekvenciás izzítás helyett elektron-, illetve ionbombázással (lásd vákuumpárologatásnál) is tisztíthatunk fémfelületeket.

Vékony rétegek, filmek készítése vákuumpárologatással

A vákuumrendszer ismertetése

Különböző fémes vagy nemfémes anyagok vákuumpárolgatása igen nagy jelentőségű mind az ipar, mind a tudományos kutatás vonatkozásában. Ilyen módon készítik a gépjárművek reflektortükréit, optikai tükröket, precíziós ellenállásokat, stb. Tudományos vonatkozásban elég, ha csak arra utalunk, hogy részecskegyorsítóknál a targetkészítés technikában nélkülözhetetlen módszer.

Részletesebben tárgyalva a vákuumpárolgatást, egyben egy komplett vákuumrendszerrel is megismerkedünk, mely többé-kevésbé megegyezik más vákuumrendszerek elvi felépítésével. Ugyanakkor rámutatunk azokra a legfontosabb tudnivalókra, melyek általában érvényesek a szokásos nagyvákuumrendszereknél. A vákuumpárolgató berendezés lényegében egy szokásos vákuumrendszer (forgó és diffúziós szivattyurendszer szelepekkel, kifagyasztóval, vákuummérővel, stb.), melynek recipiense egy alkalmas, legtöbbször harangalakú vákuumedény. A vákuumtérbe a megfelelő elektromos bevezetőkön keresztül bevezetett elektromos áram segítségével különböző anyagok izzíthatók fel oly mértékben, hogy azok elpárologva, a térbe helyezett felületekre le-kondenzálódva vékony bevonatot képeznek. Egy ilyen berendezés elvi sémáját mutatja a 92. ábra.



92. ábra. Vákuumpárolgató berendezés elvi felépítése. 1. nagyfeszültségű bevezető; 2. vákuumpárolgató harang; 3. elektromos bevezetők; 4. vákuummérő; 5. elővákuum-szelepek; 6. fellevegőző szelep; 7. forgó szivattyú; 8. puffer; 9. diffúziós szivattyú; 10. vízűtés; 11. kifagyasztó; 12. gumitömítő gyűrű; 13. nagyvákuum-szelep.

Az elővákuumot biztosító forgószivattyú itt a felső tér leszívására is szolgál; ilyenkor természetesen az I. elővákuumszelep zárva van és ez alatt a diffúziós szivattyú előtt lévő puffer edény teszi lehetővé az elővákuum biztosítását. A felső térben a nagyvákuum előállítását a diffúziós szivattyú végzi; a kifagyasztó csapda egyrészt megakadályozza az olajgőz feljutását, másrészt a különböző gőzök lekondenzálásával segít a jó vákuum előállításához.

A nagyvákuumszelepeknek igen fontos szerepe van; nélküle ugyanis csak igen hosszú periódusokban lehetne egymás után több párologtatást végezni. Ha ezt lezárjuk, a felső teret fellevegőzhetjük anélkül, hogy a diffúziós szivattyút ki kellene kapcsolni. Elvégezve a szükséges tennivalókat – melyet legtöbbször a párologtató harang leemelésével kényelmesen el lehet végezni – a felső teret elővákuumra leszívjuk a II. elővákuum szelep segítségével. Ha az ebben a térben lévő elővákuum mérő megfelelő nyomást mutat (kb. 10^{-1} Torr), a nagyvákuum szelep kinyitásakor a II. elővákuum szelepet el kell zárni; az I. szelepet pedig ki kell nyitni, hogy a diffúziós szivattyú – amely ilyenkor szállítja el a legtöbb gázt – elővákuuma biztosítva legyen. Nagyobb berendezéseknél a felső tér elővákuumra történő leszívását egy megfelelő teljesítményű, külön forgószivattyú végzi.

Ilyen berendezés célszerű és üzembiztos működtetésénél ügyelnünk kell arra, hogy indulásnál ne kapcsoljuk be a diffúziós szivattyú fűtését, míg nincs megfelelő elővákuum és amíg a diffúziós szivattyú vízűtése nincs biztosítva.

Ne nyissuk rá a felső teret a diffúziós szivattyúra, amíg azt nem szívtuk le elővákuumra. Az utóbbit nemcsak a diffúziós szivattyú, illetve a benne levő olaj megkárosodása miatt fontos betartani, hanem azért is, mert ha a működő diffúziós szivattyú, a szükséges elővákuumnál rosszabb vákuummal kerül érintkezésbe, a hirtelen felhabzó olaj eláraszthatja és beszenyyezheti az egész rendszert.

Nagyvákuummérőt csak akkor kapcsoljuk be, ha meggyőződünk (pl. elővákuummérő segítségével) arról, hogy a nagyvákuummérő működtetéséhez szükséges minimális vákuum (kb. 10^{-3} Torr) biztosítva van.

Ha nincs megfelelő védő automatika, ne hagyjuk a rendszert magára, mert víz vagy áram kimaradás súlyos károkat okozhat.

A vákuumpárologtatás technikája

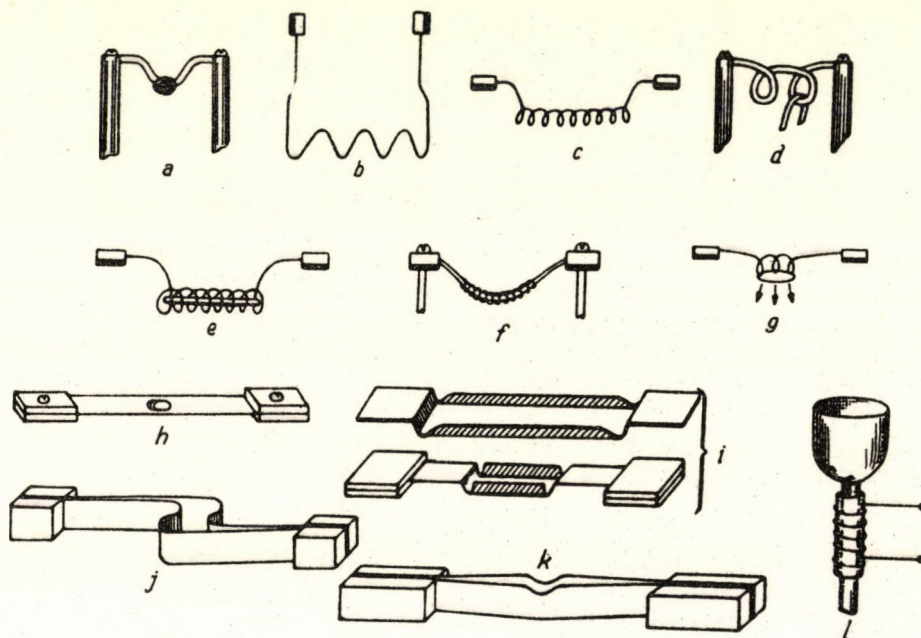
A vákuumpárologtatás, azaz fémek vagy más anyagok párologtatásának az a lényege, hogy a párologtatandó anyagot megfelelően ritkított térben olyan magas hőmérsékletre hevítjük, hogy annak gőznyomása (kb. 10^{-2} Torr) praktikusán lehetővé tegyen egy megfelelő mértékű párolgási sebességet. Az ily módon keletkező gőz hideg felületre kondenzálva viszonylag rövid idő alatt összefüggő réteget képez.

A jó vákuumra ($< 10^{-4}$) Torr egyrészt azért van szükség, mert a legtöbb fém magas hőmérsékleten oxidokká alakul; másrészt nagyvákuum hiányában az izzított felületből kilépő atomok alig vagy egyáltalán nem jutnának el a kívánt felületre. (Közepes szabad uthossz!)

A vákuumpárolgatás egyik igen fontos kérdése, hogy milyen módon, milyen anyagok segítségével lehet a párolgatatni kívánt anyagokat a megfelelő hőmérsékletre hevíteni; továbbá, hogy milyen legyen a párolgatás mértéke, időtartama, stb., azaz hogy a párolgatás a követelményeknek megfelelően menjen végbe.

A vákuumpárolgatás leggyakrabban erősáramu izzítással alacsony feszültségen történik. A párolgatatandó anyagot egy célszerűen kiképzett magas olvadáspontú fémhuzalra vagy szalagra helyezik, melyet felizzítanak. Az izzításhoz szükséges áram néhány 100 A is lehet maximum 10-20 Volt mellett. "Tartó"-ként a leggyakrabban a wolfram, molibdén, tantál, platina vagy adott esetben más alkalmas fém is használatos, ha olvadáspontjuk jóval magasabb a párolgatatandó anyagnál. A nem fémes elemeken kívül sokszor alkalmazzák a szenet is ilyen célra. Ez utóbbi elemet legtöbbször nem közvetlen izzítással, hanem pl. körbe csavart wolfram spirállal hevítjük fel, hogy a benne lévő anyagot elpárolgathassuk.

A 93. ábrán huzal, szalag, illetve egyéb alaku tartók láthatók, melyeket mindig az adott lehetőségeknek és a célnak megfelelően kell kiválasztani.



93. ábra. Különböző típusu tartók vákuum párolgatáshoz.

Bizonyos esetekben magából - ha fém - a párolgatatandó anyagból készített pl. huzal izzításával is lehet párolgatatni, amennyiben az illető fém gőznyomása elegendő nagy, az olvadáspontnál alacsonyabb hőmérsékleteken is "szublimál" (93. b.c. ábra). A szénből különböző alaku kelyhek készíthetők; az előbb említett módokon kívül igen használatos a szén kelyhek elektron bombázással való hevítése is. Ekkor a szén kelyhet egy jól (5 kV-ra) szigetelt bevezetőre helyezzük. Az ezt körülvevő wolframspirál nem az izzító tekercs, hanem az izzókatód szerepét tölti be. A szén 2-5 kV pozitív potenciálu feszültségre van kapcsolva a katódhoz képest, minek következtében a katódból kilépő elektronok a rákapcsolt feszültségnek megfelelő energiával bombázzák a szénkelyhet, s így azt kényelmesen a megfelelő hőmérsékletre hevit-

jük. Ilyen módon maga a szén is viszonylag könnyen elpárolgatható, ami egyébként nem könnyű feladat.

A különböző fémeket vákuum párologtatáshoz más és más hőmérsékletre kell hevíteni. A XII. táblázat egyrészt a párologtatáshoz leggyakrabban alkalmazott fémek párologtatási hőmérsékletét, másrészt a párologtatás nehézségi fokát adja meg.

XII. Táblázat

Fém	Olva- dópont (°C)	Párologtatás		A párologtató forrás anyaga	Fém	Olva- dópont (°C)	Párologtatás		A párologtató forrás anyaga
		Hőmér- séklete (°C)	Sebessége $10^{-5} \frac{g}{cm^2 \cdot sec}$				Hőmér- séklete (°C)	Sebessége $10^{-5} \frac{g}{cm^2 \cdot sec}$	
Ag	960	1047	17	W; Ta; Mo;	Cs	28	153	32	porcelán és üvegcsészike
Al	660	996	8	W; Ta; Mo; Al_2O_3 -tégely	Cu	1084	1273	12	Pt; Mo; Ta; W; Al_2O_3 -tégely
As	szublimál 616	280	22	W; Al_2O_3 -tégely	Fe	1535	1447	10	W; Mo; Ta; Al_2O_3 -BeO-SiO ₂ - tégely
Au	1063	1465	20	W; Mo	Ga	30	1093	13	BeO; SiO ₂ ; Al_2O_3
Antimon Sb ₂	630	678	-	Cr; Ta; Mo; W;	Ge	958	1251	13	Ta; Mo; W; Al_2O_3 -tégely
B	2300	2600	5	W; B ^{**}	Hg	-38,8	48	46	üvegedény kvarcedény
Ba	710	627	23	W; Ta; Mo; Fe; Ni; Cr	In	157	952	18	W; Fe; Mo; Al_2O_3 -tégely
Be	1280	1246	5	Ta; W; Mo	Ir	2454	2560	15	Ir ^{**}
Bi	271	698	27	Cr; Ta; W Al_2O_3 -tégely	K	63,6	207	17	üvegedény
C	≈3600	2680	4	két szénecsucs között ivfénnyel C ^{**}	La	885	1381	17	-
Ca	850	605	13	W; Ta; Mo; Fe; Ni- Al_2O_3 -tégely	Li	185	514	5	szén-szegény acél NiCr drót
Cd	321	264	27	Cr; Ta; Fe; W; Al_2O_3 és kvarc tégely	Mg	657	443	11	W; Ta; Mo; Fe; Ni Mg Al_2O_3 -tégely
Ce	775	1305	17	W;	Mn	1244	980	12	W; Mo; Ta; Mn [*] Al_2O_3 és grafit tégely
Co	1492	1649	10	W; Al_2O_3 és BeO- tégely	Mo	2622	2533	11	grafit tégely Mo [*]
Cr	1920	1205	11	Cr [*] ; W; grafit-tégely	Na	97,7	291	12	üvegedény

Fém	Olva- dópont (°C)	Párolgatás		A párolgató forrás anyaga	Fém	Olva- dópont (°C)	Párolgatás		A párolgató forrás anyaga
		Hőmér- séklete (°C)	Sebessége $\frac{10^{-5} \text{ g}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$				Hőmér- séklete (°C)	Sebessége $\frac{10^{-5} \text{ g}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$	
Nb	1950	2700	10	Nb*; W hélium vagy hidrogén	Sr	771	549	-	W; Ta; Mo; Nb; Fe; Ni;
Ni	1453	1510	11	Al ₂ O ₃ -grafit tégely; W Ni*	Ta	2996	3070	14	Ta**
Os	2700	2667	15	-	Te	452	670	25	W; Ta; Mo; Ni; Fe; Nb;
Pb	327	718	27	Fe; Ni; Mo; W; Al ₂ O ₃ -tégely	Th	1827	2196	18	Mo; W
Pd	1555	1566	14	W	Ti	1727	1546	-	Ta; W; grafit- tégely; Ti*
Pt	1773	2090	17	W drótra sodorva -"- elektrolí- záva Pt*	Tl	304	606	28	Ni; Fe; Nb; Ta; W; Al ₂ O ₃ -tégely
Rb	39	165	26	porcelán és üveg- edény	U	1689	1898	19	W;
Rh	1966	2150	12	ThO ₂ -grafit tégely Rh* W-Ta	V	1720	1888	9	W; Mo; grafit-tégely
Ru	2500	2430	11,3	-	W	3382	3310	14	W**
Sb	630	678	30	ia; W; Al ₂ O ₃ -Ni-tégely	Y	1475	1649	13	-
Se	217	234	26	Mo; Fe; Ta; Al ₂ O ₃ -BeO-tégely	Zn	419	343	19	W; Ta; Mo; Nb Al ₂ O ₃ -tégely
Si	1414	1343	8	Ta; BeO-grafit-tégely	ZnS	-	-	-	MO
SiO	-	1100- -1250	-	W; Ta; Mo; grafit-tégely	Zr	1900	2001	12	W; grafit-tégely
Sn	232	1190	20	Mo; Fe; Al ₂ O ₃ tégely					

** A párolgató anyagra ráfókuszált bombázó elektronnyalábbal való olvasztás.

* A fém saját anyagából készült huzal vagy szalag izzításával (szublimáció).

A párolgatás fázisai

Először azt a felületet kell igen gondosan megtisztítani, amire párolgatót akarunk. A tisztítás a szokásos - az üveg és fém tisztításánál már említett - eljárással történhet. A párolgatót kívánt anyag és a tartólap (hátlap) megfelelő előkészítése és a párolgatóba való behelyezése után rotációs szivattyúval megkezdjük a párolgató tér leszívását. A megfelelő elővákuum biztosítása után (kb. $5 \cdot 10^{-2}$ Torr) kerül sor az ún. ionbombázásra. A leggondosabb tisztítás esetén is marad a hátlapon olyan szennyeződés, melyet semmilyen kémiai módszerrel nem lehet eltávolítani. Az ilyen jellegű szennyeződések eltávolítását teszi lehetővé a már említett ionbombázás. Ilyenkor úgy járunk el, hogy a harang felső részébe a megfelelő szigetelő segítségével bevezetett elektróda és a párolgató tér (korong) közé 2-3 kV közé egyen- vagy váltófeszültséget kapcsolunk; ennek hatására a recipiensben kékes fényű gázkiszülés jön létre.

Az ebben végbemenő ionbombázás a már említett szennyeződést eltávolítja. Az ionbombázást kb. 5-10 percen keresztül végezzük. Ezután anélkül, hogy a diffúziós szivattyút bekapcsolnánk, a rotációs szivattyúval tovább kell szivni a recipienst, mert az ionbombázás alatt felszabaduló gőzök és gázok miatt az elővákuum leromlik. Ha a vákuum ismét eléri a diffúziós szivattyu működtetéséhez szükséges vákuumot, akkor az időközben működésbe hozott diffúziós szivattyúval - a nagyvákuumszelep kinyitása után - megkezdhetjük a párologtató tér nagyvákuumra való leszívását. Ha elértük a szükséges nagyvákuumot (10^{-4} - 10^{-5} a szokásos esetekben) az elpárologtatandó anyagot óvatosan felhevítve a megfelelő hőmérsékletre, elpárologtatjuk. Miután a diffúziós szivattyútól (a nagyvákuumszelep lezárásával) a párologtatóteret elválasztottuk, a harang leemelése után kivethetjük a párologtatott darabokat, majd előkészíthetjük a következő párologtatást.

A fent leírtak nagyvonalakban megadják a vákuumpárologtatás munkamenetét. Természetesen a gyakorlatban ebből bizonyos eltérések adódhatnak. Így pl., ha olyan vékony réteget akarunk készíteni, amelyet a tartóról le kell választanunk, akkor az ionbombázást fel kell adni, hiszen ez a párologtatott réteg jó tapadását hivatott biztosítani.

A vákuumrendszereket illetően az elmondottak általános érvényűek, csupán a párologtató tér helyett valamilyen más munkatér (vákuumtér) szerepel, melyet atmoszféra nyomásról a kívánatos nagyvákuumra kell leszívni, illetve nagyvákuumon tartani az illető berendezés működtetése (pl. gyorsítás) közben is. Hasonló általános követelmény a fellevegőzhetőség, illetve az ismételten gyors leszívhatóság. Ez azt jelenti, hogy a célnak megfelelő szeleprendszerrel, valamint vákuum mérőegységekkel, esetleg védőautomatikával, stb. kell ellátni a vákuumrendszert.

Az ATOMKI KÖZLEMÉNYEK évenként több számban jelenik meg. Tudományos intézeteknek cserepéldányképpen vagy kérésükre díjtanul megküldjük, kötelezettség nélkül. Magánszemélyeknek esetenkénti kérésére 1 - 1 számot vagy különlenyomatot szívesen küldünk. Ilyen irányú kéréseket az intézet könyvtárszolgálatához kell irányítani. (ATOMKI, Debrecen 1. Pf. 51.)

Szerkesztő Bizottság: Szalay Sándor elnök, Gyarmati Borbála titkár, Berényi Dénes, Csikai Gyula, Medveczky László.

Kiadja a
Magyar Tudományos Akadémia
Atommag Kutató Intézete
Debrecen

A kiadásért és szerkesztésért felelős
Szalay Sándor az Intézet igazgatója.

Készült az MTA Atommag Kutató Intézetében

Példányszám: 450

1970/2.

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

АТОМ КІ

СООБЩЕНИЯ

ТОМ 12.

№ 1-2

СОДЕРЖАНИЕ

А. САЛАИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Составители - сотрудники:

И. Берец

Б. Шебештен

Л. Медвецьки

Й. Сабо

Том II.

ATOMKI

BULLETIN

Volume 12. Number 1-2

CONTENTS

A. Szalay

BASIC TECHNIQUES OF PHYSICAL EXPERIMENTING

Contributors:

I. Berecz

L. Medveczky

B. Sebestyén

J. Szabó

Part II.